

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2000-173152

(P 2000-173152A)

(43) 公開日 平成12年6月23日 (2000. 6. 23)

(51) Int. Cl. 7	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 1 1 B 19/00	5 0 1	G 1 1 B 19/00	5 0 1 H 5B011
G 0 6 F 1/32		G 0 6 F 3/06	3 0 2 Z 5B065
1/26		H 0 2 J 1/00	3 0 7 F 5G065
3/06	3 0 2	G 0 6 F 1/00	3 3 2 Z
H 0 2 J 1/00	3 0 7		3 3 4 H
審査請求 有	請求項の数 13	OL	(全 29 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-337003

(22) 出願日 平成10年11月27日 (1998. 11. 27)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS  
MACHINES CORPORATIONアメリカ合衆国10504、ニューヨーク州  
アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 横江 祐司

神奈川県藤沢市桐原町1番地 日本アイ・  
ビー・エム株式会社 藤沢事業所内

(74) 代理人 100086243

弁理士 坂口 博 (外1名)

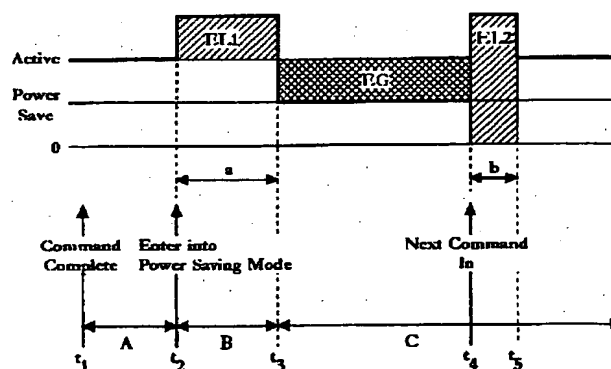
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 消費エネルギー低減方法

(57) 【要約】

【課題】 HDDの消費電力をより低減させることを目的とする。

【解決手段】 パワーセーブ・モードへ移行及びパワーセーブ・モードから復帰するために付加的に必要な消費電力量並びにコマンドに対する応答の遅延時間分の消費電力量を、パワーセーブ・モードに移行している期間の節約が期待される消費電力量と予め比較する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】第一の状態と第一の状態よりエネルギー消費量の少ない第二の状態との間を遷移可能な装置において該装置が消費するエネルギーを低減させる方法であつて、

前記装置が第一の状態から第二の状態に移行することにより節約が期待されるエネルギーを計算するステップと、

前記計算された節約が期待されるエネルギーに基づいて前記装置が第一の状態から第二の状態に移行する時期を決定するステップと、

前記装置を当該時期に第一の状態から第二の状態に移行させるステップと、を含む、消費エネルギー低減方法。

【請求項 2】前記第一の状態がアクティブ・モードであり、前記第二の状態がパワーセーブ・モードである、請求項 1 記載の消費エネルギー低減方法。

【請求項 3】前記第一の状態が第一のパワーセーブ・モードであり、前記第二の状態が前記第一のパワーセーブ・モードよりエネルギー消費量の少ない第二のパワーセーブ・モードである、請求項 1 記載の消費エネルギー低減方法。

【請求項 4】前記エネルギーが電力量である、請求項 1 記載の消費エネルギー低減方法。

【請求項 5】前記節約が期待されるエネルギーを計算するステップが、

第一の状態から第二の状態に移行及び第二の状態から第一の状態に復帰することにより第一の状態のままでいるよりも付加的に消費するエネルギーを計算するステップと、

第二の状態にいる間第一の状態のままでいるよりも節約される消費エネルギーを計算するステップと、

前記節約される消費エネルギーから前記付加的に消費するエネルギーを減ずるステップとを含む、

請求項 1 記載の消費エネルギー低減方法。

【請求項 6】前記節約が期待されるエネルギーを計算するステップが、

過去のコマンド間隔の分布を計算するステップと、

前記過去のコマンド間隔の分布に応じて節約が期待されるエネルギーを計算するステップとを含む、

請求項 1 記載の消費エネルギー低減方法。

【請求項 7】前記過去のコマンド間隔の分布を計算するステップが、一定時間毎に過去のコマンド間隔の分布を更新するステップを含む、請求項 6 記載の消費エネルギー低減方法。

【請求項 8】前のコマンドを完了してから次のコマンドを受け取るまでの時間をコマンド間隔とする、請求項 6 記載の消費エネルギー低減方法。

【請求項 9】前記装置が第一の状態から第二の状態に移行する時期を決定するステップが、

過去のコマンド間隔の分布を計算するステップと、

前記過去のコマンド間隔の分布に応じて次のコマンドに対する応答の遅延時間を計算するステップと、

前記次のコマンドに対する応答の遅延時間に応じて、装置が第一の状態から第二の状態に移行する時期を決定するステップとを含む、

請求項 1 記載の消費エネルギー低減方法。

【請求項 10】前記過去のコマンド間隔の分布を計算するステップが、一定時間毎に過去のコマンド間隔の分布を更新するステップを含む、請求項 9 記載の消費エネルギー低減方法。

【請求項 11】前のコマンドを完了してから次のコマンドを受け取るまでの時間をコマンド間隔とする、請求項 9 記載の消費エネルギー低減方法。

【請求項 12】第一の状態と第一の状態よりエネルギー消費量の少ない第二の状態との間を遷移可能な装置であつて、

前記装置が第一の状態から第二の状態に移行することにより節約が期待されるエネルギーを計算する手段と、

前記節約が期待されるエネルギーを計算する手段に回答して前記装置が第一の状態から第二の状態に移行する時期を決定する手段と、

前記装置が当該時期に第一の状態から第二の状態に移行する手段と、を含む装置。

【請求項 13】前記装置がハード・ディスク・ドライブである、請求項 12 記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ディスク装置に供給する電力の管理に関し、特に、ディスク装置の消費電力を低減する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、環境保護等の観点から、パーソナル・コンピュータ（PC）等の電子機器に対し、より消費電力を小さくすることが求められている。特に、特にノートブック型 PC をはじめとする携帯用機器については、内蔵電源による長時間使用を可能にするため、より一層の省電力が求められている。

【0003】これらの機器の記憶装置として用いられるハード・ディスク・ドライブ（HDD）は、消費電力を低下させるために、省電力のための動作を行わないアクティブ（Active）・モードのほか、トラックフォローのみで読み書きを行わないアイドル（Idle）・モードや、さらに消費電力を低減させるためディスクを回転させるスピンドル・モータを止めるスタンバイ（Standby）・モード等の複数のパワーセーブ（省電力）・モードを有している。

【0004】平均的に消費電力を低減させるためには、ホスト・コンピュータからコマンドを受けない非動作時に、なるべく低い（消費電力の少ない）レベルのパワーセーブ・モードに移行することが有効である。

【0005】一方、ホスト・コンピュータからのコマンドに対する応答時間が長くなることを防止するため、コマンドを受けたら速やかにパワーセーブ・モードから抜けてアクティブ・モードに戻る必要がある。

【0006】一般に、より低いレベルのパワーセーブ・モードに移行するとき及びアクティブ・モードに復帰するときに、より多くの時間及びエネルギーが必要となる。

【0007】したがって、コマンドを受け取る間隔が短く、動作していない時間が短い場合においては、パワーセーブ・モードに移行するために消費するエネルギーの方が、そのパワーセーブ・モードに入ることにより節約出来るエネルギーよりも大きくなり、結局HDDの平均消費電力を増加させてしまう場合も考えられる。また、コマンドに対する応答もアクティブ・モードに復帰する時間だけ遅くなってしまふ。

【0008】このような理由から、パワーセーブ・モードに入るタイミングを最適化する必要がある、そのため以下のようなアルゴリズムが考えられている。

【0009】(1) 単純なタイマによる制御アルゴリズム

直前に実行したコマンド(命令)から一定時間以上経過した場合に、しばらくは次のコマンドは来ないであろうと判断し、パワーセーブ・モードに移行するというアルゴリズムである。ここで、「一定時間」とは、固定値またはホスト・コンピュータからコマンドにより指定された値にそれぞれ対応する時間をいう。

【0010】しかしながら、この方法では、例えば、コマンドの間隔が上記一定時間よりわずかに長いような場合、パワーセーブ・モードに入った直後に次のコマンドが来て、アクティブ・モードに復帰してしまい、結局HDDの平均消費電力を増加させてしまうことがある。

【0011】(2) Adaptive Battery Life Extender (ABLE) アルゴリズム

過去の一定時間毎にその時間内にHDDが受け取ったコマンドの数(密度)を調べ、その一定時間における受け取ったコマンドの密度が高い(コマンドの間隔が短い)場合にはパワーセーブ・モードに移行するまでの時間を短くし、コマンドの密度が低い(コマンドの間隔が長い)場合にはパワーセーブ・モードに移行するまでの時間を長くする、というアルゴリズムである。

【0012】このアルゴリズムにより、HDDが一定間隔でコマンドを受け取った場合に、パワーセーブ・モードに入った直後に次のコマンドが来ってしまうという可能性は低減出来る。しかしながら、コマンド間隔がランダムに変わる場合には、必ずしも最適なタイミングでパワーセーブ・モードに移行できるとは限らない。また、コマンドを受け取った時点基準とするコマンドの密度を基にパワーセーブ・モードに移行するタイミングを決めているので、HDDがコマンドを処理するのに時間が

かった場合には見かけ上の密度が低くなってしまい、不適当なタイミングでパワーセーブ・モードに移行してしまうおそれがある。

【0013】(3) Enhanced Adaptive Battery Life Extender (ABLE2) アルゴリズム

(2)のABLEのアルゴリズムを拡張したものである。すなわち、ABLEにより制御されるパワーセーブ・モードは1個のみであったが、この数を3個にして、さらに低いレベルのパワーセーブ・モード(例えば、ロード・アンド・ロード機構を備えたHDDにおいてヘッドをアンロードするモード)にも自動的に移行することを可能にしたものである。

【0014】このアルゴリズムは、他のパワーセーブ・モードに移行するタイミングはABLEアルゴリズムと同じであるが、コマンド間隔のパターン(一定間隔でコマンドを受け取る場合、一回コマンドを受けた後しばらくコマンドを受け取らない場合又はランダムな間隔でコマンドを受け取る場合)によって3種類の関数を定義し、それにより、なるべく良いタイミングでアクティブ・モードからパワーセーブ・モードに、又はあるパワーセーブ・モードから他のパワーセーブ・モードに移行する点でABLEアルゴリズムと相違する。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来技術においては、パワーセーブ・モードに移行した場合に節約が期待される消費電力量を予め計算することはなされていなかった。

【0016】したがって、従来技術においては、コマンド間隔及びパワーセーブ・モードへの移行のタイミングによっては、パワーセーブ・モードへの移行及びパワーセーブ・モードからの復帰のために付加的に必要な消費電力量並びにコマンドに対する応答の遅延時間分の消費電力量が、パワーセーブ・モードに移行している期間に節約される消費電力量を上回り、結果的に節電の目的が達成できない場合もあり得た。

【0017】また、コマンドを受け取った時点基準としてコマンドの密度を計算していたので、HDDがコマンドを処理するのに時間がかかった場合には、コマンドの完了をホスト・コンピュータに通知するのも遅くなり、それに伴ってホスト・コンピュータから次のコマンドが発行されるのも遅くなるため、HDDの非動作の時間が短い(稼働率が高い)にもかかわらず、ホスト・コンピュータから受け取るコマンドの見かけ上の密度が低下してしまい、不適当なタイミングでパワーセーブ・モードに移行してしまうおそれがあった。

【0018】したがって、本発明は、HDDの消費電力をより低減させることを目的とする。

【0019】また、本発明は、パワーセーブ・モードに移行した場合に節約が期待される消費電力量を計算することができる方法及び装置を提供することを目的とす

る。

【0020】さらに、本発明は、上述のような、HDDの非動作の時間が短いにもかかわらず、ホスト・コンピュータから受け取るコマンドの見かけ上の密度が低くなってしまい、不適当なタイミングでパワーセーブ・モードに移行してしまうという不都合を解消し、真にHDDが非動作である時間に応じてホスト・コンピュータから受け取るコマンドの密度を計算する方法及び装置を提供することを目的とする。

#### 【0021】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、パワーセーブ・モードへ移行及びパワーセーブ・モードから復帰するために付加的に必要となる消費電力量並びにコマンドに対する応答の遅延時間分の消費電力量を、パワーセーブ・モードに移行している期間の節約が期待される消費電力量と予め比較する。

【0022】また、本発明によれば、HDDへの過去のコマンド間隔の時間分布と同じ時間分布で次のコマンドが来ることを仮定し、パワーセーブ・モードへ移行した場合に節約が期待される消費電力量を、複数のタイミン

グで計算する。

【0023】さらに、本発明によれば、節約が期待される消費電力量とともに、次に受け取るコマンドを実行するためにパワーセーブ・モードから復帰するための平均遅延時間を計算する。

【0024】さらにまた、本発明によれば、ホスト・コンピュータより指定されている時間よりも上記計算される平均遅延時間が短い範囲内で、最も節約される消費電力量が大きくなるタイミングでパワーセーブ・モードに移行する。

【0025】さらにまた、本発明によれば、計算に用いる過去のコマンド間隔には、前のコマンドを受け取ってから次のコマンドを受け取るまでの時間ではなく、前のコマンドの実行を完了してから次のコマンドを受け取るまでの時間を用いる。すなわち、インターフェースが稼動していない（アイドル状態の）時間をコマンド間隔とする。

【0026】さらにまた、本発明によれば、一定時間毎に、計算に用いる過去のコマンド間隔の影響力を半減させていき、最新のアクセス・パターンが最も大きく計算に反映されるようにする。

#### 【0027】

【発明の実施の形態】（1）本発明が適用される装置  
図1は本発明が適用されるHDDのブロック図である。ディスク装置100は、コントローラ部110とディスク部130から構成されている。コントローラ部110は、ホスト・コンピュータ10に接続されるホスト・インターフェース・コントローラ（HIC）112と、ホスト・インターフェース・コントローラ112に接続され、ディスク部の制御を行うハード・ディスク・コン

トローラ（HDC）114と、ハード・ディスク・コントローラ114に接続され、読み取り・書き込み信号の制御を行うチャンネル116と、HIC112、HDC114、チャンネル116に接続され、これらの制御を行うMPU118と、MPU118に接続され、MPUが実行するマイクロコードを記憶するRAM120を含む。ディスク部130はスピンドル132を回転させるモータ134を備えている。スピンドル132には、ディスク136A及び136Bが、スピンドル132と一体的に回転するように取り付けられている。ディスクは、図においては2枚であるが、1枚又は3枚以上でもよい。

【0028】それぞれがディスクの面に対向するようにヘッド138A、138B、138C及び138Dが、アクチュエータ・アーム140A、140B、140C及び140Dにそれぞれ支持されて配置されている。アクチュエータ・アーム140A～140Dはピボット・シャフト142を介してボイス・コイル・モータ（VCM）144に取付けられ、その回転により、ヘッド138A～138Dはディスクの所望の半径位置に移動される。モータ134及びVCM144はHDC114に接続され、それぞれの回転数、速度等が制御される。ヘッド138A～138Dはチャンネル116に接続され、読み取り・書き込み信号がチャンネル116によって制御される。

【0029】（2）節約が期待される消費電力量および次のコマンドの遅延時間の計算

図2に、パワーセーブ・モードの前後にわたる消費電力の推移を示す。図において、横軸は時間、縦軸は消費電力をそれぞれ表す。なお、図は説明のために簡略化したものであり、縮尺、波形等は正確でないことに留意されたい。まず、時刻 $t_1$ にコマンドの実行が完了（command complete）すると、一定の時間Aが経過した後、HDDは時刻 $t_2$ にアクティブ・モードからパワーセーブ・モードへの移行を開始し、ヘッドをディスク上から待避させる（アンロード）等の移行動作を行う。このとき、HDDは移行動作に伴ってアクティブ・モードよりも多くの電力を付加的に消費し、斜線部EL（Energy Loss）1として示した部分の面積に対応する電力消費量が、アクティブ・モードからパワーセーブ・モードに移行するための電力の損失となる。HDDは時刻 $t_3$ にパワーセーブ・モードへの移行動作を完了し、時刻 $t_4$ に次のコマンドを受け取るまで、HDDはパワーセーブ・モードに入った状態である。このとき、HDDはアクティブ・モードよりも少ない電力を消費し、網線部EG（Energy Gain）として示した部分の面積に対応する電力消費量が、アクティブ・モードからパワーセーブ・モードに移行したことによる電力の利得となる。時刻 $t_4$ において、HDDが次のコマンドを受け取ると、それに対する処理を行うため、待避させられたヘッドを再びディスク上にロ

ードさせる等のアクティブ・モードへの復帰動作を行う。このとき、HDDは復帰動作に伴ってアクティブ・モードよりも多くの電力を消費する。さらに、復帰動作を行っている間、コマンドに対する応答がその間遅延するため、遅延時間分のHDDの全電力消費量である、斜線部EL2として示した部分の面積に対応する電力消費量がパワーセーブ・モードからアクティブ・モードに復帰することによる電力の損失となる。時刻 $t_3$ において復帰動作は完了し、HDDはコマンドに対する処理を開始する。

【0030】アクティブ・モードのままにいてことに対してパワーセーブ・モードに移行することにより節約される電力消費量TEG(Total Energy Gain)は、以下の式で計算される。

【数1】

$$TEG = EG - (EL1 + EL2) \quad (1)$$

【0031】ここで、EL1及びEL2はそれぞれ一定のため、パワーセーブ・モードに移行したことによる電力利得EGが小さければTEGが負数になり、HDDはパワーセーブ・モードに移行しない場合よりもかえって多くの電力を消費してしまう。従って、節約される電力消費量を増加させるためには、パワーセーブ・モードに一定時間以上長く入っている必要がある。

【0032】さらに図2を参照すると、まだパワーセーブ・モードへの移行が始まる前の期間(期間Aとして示される)内のある時点で次のコマンドを受け取った場合、節約される消費電力量は0であり、遅延時間も0となる。

【0033】また、HDDの制御機構は通常一旦完全にパワーセーブ・モードに入った後にそれから復帰するようになっているため、パワーセーブ・モードへの移行中(期間Bとして示される)に次のコマンドを受け取った場合は、節約される消費電力量は、

【数2】

$$TEG = -(EL1 + EL2 + EL3) \quad (2)$$

【0034】となり、パワーセーブ・モードへ移行しない場合に比べて多くの電力を消費することとなる。ここで、EL3は、次のコマンドを受け取ってからパワーセーブ・モードへの移行が完了するまでの時間に、アクティブ・モード時の消費電力を乗じたものである。また、コマンドに対する応答の遅延時間は、次のコマンドを受け取ってからパワーセーブ・モードへの移行が完了するまでの時間と図中bで示されるパワーセーブ・モードからの復帰にかかる時間の和となる。

【0035】さらにまた、パワーセーブ・モードへの移行が完了した後(期間Cとして示される)の時点で次のコマンドを受け取った場合は、上述のように節約される消費電力量は、

【数3】

$$TEG = EG - (EL1 + EL2) \quad (3)$$

【0036】となり、パワーセーブ・モードに入っている時間が長いほど電力をより多く節約出来ることとなる。しかしながら、パワーセーブ・モードに入っている時間が短く、EGが(EL1+EL2)より小さい場合は、パワーセーブ・モードへ移行しない場合に比べてむしろ多くの電力を消費することとなる。また、この場合の遅延時間は、図中bで示されるパワーセーブ・モードからの復帰にかかる時間のみとなる。

【0037】以上から、次のコマンドを受け取るタイミングと節約できる消費電力量TEG及び遅延時間の関係は、図3のグラフのようになる。ここで、横軸においてパワーセーブ・モードへの移行を始めるタイミング(図2における時刻 $t_2$ )を0として、それより前のタイミングは負、後のタイミングは正として表示している。

【0038】図3において、時刻0において次のコマンドを受け取ってから、図2の期間Bに相当する期間内においては、節約できる消費電力量について式(2)が適用される。このとき、時間の経過に伴ってEL3が減少する一方、EL1及びEL2はそれぞれ一定だから、時刻0のとき節約できる消費電力量が最小値(この場合は負数)をとり、その後、時間の経過に伴って節約できる消費電力量の値は単調に増加する。

【0039】期間Bに相当する期間が経過すると、期間Cに相当する期間となり、節約できる消費電力量について式(3)が適用される。このとき、時間の経過に伴ってEGが増加する一方、EL1及びEL2はそれぞれ一定だから、節約できる消費電力量の値は単調に増加する。時刻 $t_3$ で、パワーセーブ・モードに入ることによる電力利得EGとパワーセーブモードへの移行及び復帰に要する消費電力量(EL1+EL2)がバランスし、節約できる消費電力量の値が0となる。その後、節約できる消費電力量は正の値に転じ、単調に増加する。

【0040】従って、パワーセーブ・モードへの移行を始めるタイミングから時刻 $t_3$ が経過する前に次のコマンドを受け取ると、TEGは負の値となり、アクティブ・モードのままにいてよりもかえって多く電力を消費してしまう。一方、次のコマンドを受け取るタイミングが時刻 $t_3$ が経過した後であれば、TEGは正の値となり、アクティブ・モードのままにいてよりも電力を節約することができる。

【0041】図3において、時刻0において次のコマンドを受け取ってから、図2の期間Bに相当する期間において、コマンドを受け取ってから応答を開始するまでの遅延時間は、以下ようになる。即ち、時刻0のときパワーセーブ・モードへの移行及び復帰に要する時間の和(a+b)となり、従って、移行開始直後に次のコマンドを受け取ったときに遅延時間が最大となる。その後パワーセーブ・モードへの移行動作が進行するに従って移行に要する時間の残り時間が減少し、遅延時間は単調に減少する。期間Bに相当する期間が経過するとアクティ

ブ・モードへの復帰に要する時間bのみとなり、従って、このとき遅延時間が最小となる。

【0042】図4、図5及び図6に、パワーセーブ・モードを4個にしたときのTEG（図中Energy Gainと表示）及び遅延時間（図中Response Lossと表示）の変化を示す。これらの図において、アイドル（IDLE）・モードとは、ヘッドによるディスクへのデータの読み書きは行わず、ディスク上のサーボ信号の読み込みによるトラックフォローのみを行うモードをいい、アイドル2（IDLE2）・モードとは、サーボ信号の読み込みによるトラックフォローを行わず、チャンネルに電力を供給しないモードをいい、アイドル3（IDLE3）・モードとは、ロード・アンロード機構を有するHDDにおいてさらにヘッドをディスクからアンロードしてディスクの外側にあるランプに待避させることによりモータに対する抵抗を低減させるモードをいい、スタンバイ（STANDBY）・モードとは、モータの回転を止めるモードをいうこととする。従って、HDDがアイドル・モード、アイドル2・モード、アイドル3・モード、スタンバイ・モードと移行するにしたがって、その消費電力が少なくなる。

【0043】図4は、HDDがアイドル・モードからアイドル2・モードへ移行するときのコマンド間隔とTEG及び遅延時間との関係を示す。両モード間の移行には、サーボ信号の読み込みという電氣的スイッチング及びトラックフォローによるヘッドの微小な機械的動作しか伴わないので、モードの移行による消費電力が比較的小さく、また、遅延時間も比較的小さい。

【0044】図5は、HDDがアイドル2・モードからアイドル3・モードへ移行するときのコマンド間隔とTEG及び遅延時間との関係を示す。両モード間の移行には、ヘッドをディスクからアンロードしてランプに待避させるという機械的動作を伴うので、モードの移行による消費電力が比較的大きく、遅延時間も比較的大きい。

【0045】図6は、HDDがアイドル3・モードからスタンバイ・モードへ移行するときのコマンド間隔とTEG及び遅延時間との関係を示す。両モード間の移行には、モータを停止又は起動するという動作を伴い、かかる動作には一定の時間を要するので、モードの移行による消費電力が比較的大きく、また、遅延時間も比較的大きい。

【0046】以上、次に受け取るコマンドの時期による節約できる消費電力量TEG及びコマンドに対する応答の遅延時間について説明したが、実際のHDDの動作においては次のコマンドがいつ来るかを予測し、そのタイミングに合わせてパワーセーブ・モードへ移行を開始するまでの時間を決定することにより、全体として最も多く消費電力を節約できると考えられる。また、この時の遅延時間も許容出来る範囲に止める必要がある。

【0047】ここで、次のコマンドがいつ来るかについ

ては、過去のコマンド間隔の情報に基づき仮定する。この場合、過去のコマンド間隔の単なる平均を次のコマンド間隔として採用するよりも、過去のコマンド間隔の分布を次のコマンド間隔の分布として採用した方が、より正確に次のコマンド間隔を予測できると考えられる。

【0048】そこで、パワーセーブ・モードへの移行を開始するまでの時間を複数選び、それぞれの時間毎に、図4乃至図6のグラフをコマンド間隔の分布により重み付けをして節約される消費電力量及び次のコマンドに対する応答の遅延時間を計算する。このようにして、パワーセーブ・モードへの移行を開始するまでの時間と、節約される消費電力量及び次のコマンドに対する応答の遅延時間との関係を知ることができる。

【0049】この関係を用いて、節約される消費電力量が最大となり、かつ遅延時間が十分小さくなるまでの、移行開始までの時間を決定することができる。

【0050】以下、具体例を図7乃至図22に示す。

【0051】図7に、あるオペレーティング・システム（OS）のブート（Boot）・プログラムを実行したときのコマンド間隔の分布を示し、図8乃至図10に、各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した場合のTEG及び遅延率の変化を示す。

【0052】図8は、図4におけるアイドル2・モードへの移行開始までの時間として図7のコマンド間隔の分布を適用して重み付けをしたときに、アイドル2・モードへの移行開始までの時間と節約できる消費電力及び遅延率の関係を示したものである。ここで図8以降のグラフは、前のコマンドの終了時からパワーセーブ・モード（この場合はアイドル2・モード）への移行を開始するまでの時間（図中Transition Delayと表示）を横軸にしており、節約消費電力量および遅延時間ともに経過時間で割って、節約消費電力（図中Power Gainと表示）および遅延率（図中Response Lossと表示）としている。図8のグラフより、前のコマンドを完了してから約100ms後にアイドル2・モードへの移行を始めたときに節約消費電力がもっとも大きくなることがわかる。また、遅延時間も、約100ms後には十分小さくなっていることがわかる。従って、前のコマンドを完了してから約100ms経過後にパワーセーブ・モードに移行することが最適であると推測される。

【0053】図9は、図8と同様に図5におけるアイドル3・モードへの移行開始までの時間として図7のコマンド間隔の分布を適用して重み付けをしたときに、アイドル3・モードへの移行開始までの時間と節約できる消費電力及び遅延率の関係を示したものである。図9のグラフより、前のコマンドを完了してから約6000msを経過するまでは節電の効果が無いことがわかる。従って、このとき、アイドル3・モードには移行しない方がよいことが推測される。

【0054】図10は、図8と同様に図6におけるスタ

ンバイ・モードへの移行開始までの時間として図7のコマンド間隔の分布を適用して重み付けをしたときに、スタンバイ・モードへの移行開始までの時間と節約できる消費電力及び遅延率の関係を示したものである。図10のグラフより、前のコマンドを完了してから約6000msを経過するまでは節電の効果が無いことがわかる。従って、このとき、スタンバイ・モードには移行しない方がよいことが推測される。

【0055】図11乃至図14は、バッテリーの使用時間を比較するためのベンチマーク・プログラムの一つを  
10 実行したときのコマンド間隔の分布（図11）、及び各  
パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した場合  
のTEG及び遅延時間の変化（図12乃至図14）を示す。  
図12において、前のコマンドを完了してから約100ms  
後にアイドル2・モードへの移行を始めたときに節約消費電力が最も大きくなる  
ことがわかる。また、遅延時間も、約100ms後には十分小さくなっている  
ことがわかる。図13において、前のコマンドを完了して  
から約1500msを経過するまでは節電の効果が無い  
ことがわかる。一方、遅延時間は、約2000ms経  
20 過後には十分小さくなっていることがわかる。図14  
において、前のコマンドを完了してから約2000ms  
を経過するまでは節電の効果が無いことがわかる。一方、  
遅延時間は、約16000ms経過後には無視出来るほど  
小さくなっていることがわかる。

【0056】図15乃至図18は、ビジネス用アプリケーション・プログラムの実行性能を比較するためのベンチ  
マーク・プログラムの一つを実行したときのコマンド  
間隔の分布（図15）、及び各パワーセーブ・モードの  
移行にこの分布を適用した場合のTEG及び遅延時間の  
30 変化（図16乃至図18）を示す。図16において、前  
のコマンドを完了してから約200ms後にアイドル2  
・モードへの移行を始めたときに節約消費電力がもっ  
とも大きくなることがわかる。また、遅延時間も、約20  
0ms後には十分小さくなっていることがわかる。図17  
において、前のコマンドを完了してから約2000ms  
を経過するまでは節電の効果が無いことがわかる。一  
方、遅延時間は、約2000ms経過後には十分小さく  
なっていることがわかる。図18において、前のコマン  
ドを完了してから約3000msを経過するまでは節電  
40 の効果が無いことがわかる。一方、遅延時間は、約30  
00ms経過後には無視出来るほど小さくなっているこ  
とがわかる。

【0057】図19乃至図22は、バッテリーの使用時間を比較するためのベンチマーク・プログラムの他の一つ  
を実行したときのコマンド間隔の分布（図19）、及び  
各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した  
場合のTEG及び遅延時間の変化（図20乃至図22）  
を示す。図20において、前のコマンドを完了した直後  
から約1000ms後までの間にアイドル2・モードへ  
50

の移行を始めたときに節約消費電力がもっとも大きくな  
ることがわかる。また、遅延時間も、この期間を通じて  
無視出来るほど小さいことがわかる。図21において、  
前のコマンドを完了した直後から約12000ms後ま  
での間にアイドル3・モードへの移行を始めたときに節  
約消費電力がもっとも大きくなることがわかる。一方、  
遅延時間は、この期間を通じて無視出来るほど小さく  
なっていることがわかる。図22において、前のコマン  
ドを完了した直後から約4000ms後までの間にスタン  
バイ・モードへの移行を始めたときに節約消費電力がも  
っとも大きくなることがわかる。一方、遅延時間は、こ  
の期間を通じて十分小さくなっていることがわかる。

#### 【0058】(3) 動的制御

以上の説明は、過去のアクセス・パターンに基づいて、  
どのタイミングでパワーセーブモードに入れば効果的で  
あったかを解析したものである。過去のアクセス・パ  
ターンのコマンド間隔の時間分布と同一の分布で次のコ  
マンドを受け取ると仮定すると、解析された効果的なタイ  
ミングがこれから受け取るコマンドに対しても有効とな  
る。本発明は、このように過去のアクセス・パターンに  
基づいてパワーセーブ・モードに移行するタイミングを  
決定している。

【0059】計算を簡単にして、保持しなければならない  
過去のコマンド間隔のデータ量を少なくするため、本  
発明の適用例では、コマンド間隔を複数の時間領域に分  
け、それぞれの時間領域でのコマンド間隔の数とその時  
間領域の平均時間とのデータが保持されている。そのよ  
うにすることで、総節約電力量は、各時間領域の平均時  
間から計算される節約消費電力量にコマンド間隔の数を  
乗じたものを、全時間領域で足しあわせることにより近  
似できる。総遅延時間についても同様である。

【0060】また、パワーセーブ・モードに移行するま  
での最小時間が決まっている場合は（例えば100ms  
等）、それよりも短いコマンド間隔ではパワーセーブ  
モードに移行しないので、そのコマンド間隔に対する節  
約消費電力量も遅延時間も0となる。すなわち、計算に  
使用する意味はないので、データとして保持する必要が  
なくなり、その分保持しなければならないデータ量を節約  
できる。

#### 【0061】(4) コマンド間隔

計算に用いる過去のコマンド間隔には、前のコマンドを  
完了した後、次のコマンドを受け取るまでの時間、即ち  
インターフェースがアイドルである時間をコマンド間隔  
とする。ホスト・コンピュータがいつ次のコマンドを送  
るかを確認する必要があるためである。従来は、前のコマン  
ドを受け取った後、次のコマンドを受け取るまでの時間  
をコマンド間隔としていたが、この方法ではHDDがコ  
マンドを処理するために要する時間もコマンド間隔に含  
まれてしまう。即ち、ホスト・コンピュータが意図的に  
コマンドを送らなかった時間も、HDDがコマンドを処

理しておりそれが終了するのを待っていた時間も区別なく処理されてしまう。従って、従来の方法はホスト・コンピュータがいつ次のコマンドを送るかを判断する材料としては不適当となる。

【0062】(5) 過去のコマンド間隔の計算に対する影響の大きさ

前のコマンドを完了してから次にコマンドを受け取るまでの時間は、比較的近い過去のコマンド間隔の時間分布に従うものと予想される。よって、計算には最新のコマンド間隔の分布が最も大きく影響し、古いコマンド間隔の分布は比較的影響しないようにしたほうが望ましい結果が得られる。このため、一定時間毎に過去のコマンド間隔の計算への影響力を半減させる。本発明の適用例では、一定時間毎に各時間領域のコマンド間隔の数を半減させることにより、実現している。

【0063】(6) 複数のパワーセーブ・モードへの対応

パワーセーブ・モードが複数個ある場合でも、浅いパワーセーブ・モードからさらに深いパワーセーブ・モードに移行する場合の追加の節約消費電力と遅延時間を上記と同様に計算することにより、簡単に対応することが出来る。

【0064】(7) 実際の動作方法

図23乃至図32に実際の動作方法を示す。これらの方法は通常HDDのマイクロコードとして実現される。

【0065】図23は、図7、図11、図15及び図19に示すようなコマンド間隔の分布を求めるための方法を示した流れ図である。ステップ2310において初期化プログラムを開始し、続くステップ2312において、コマンド間隔の時間領域を設定する。この例では、コマンド間隔の時間領域の数をNUM\_POINTとし、1番目の時間領域をhist\_min\_time[0]とし、その時間間隔を100以上の時間に、2番目の時間領域をhist\_min\_time[1]とし、その間隔を200以上の時間に、3番目の時間領域をhist\_min\_time[2]とし、その間隔を300以上の時間に、としていき、NUM\_POINT番目の時間領域をhist\_min\_time[NUM\_POINT-1]とし、その間隔を31500以上の時間に、NUM\_POINT+1番目の時間領域をhist\_min\_time[NUM\_POINT]とし、その間隔を60000以上の時間にそれぞれ設定する。なお、ここで時間の表示は相対的なものであり、ms等の具体的な単位を直接表示するものとは限らないことに注意されたい。また、時間間隔はこの例のように対数的に分割するのが好ましい。

【0066】ステップ2312を終了後、ステップ2314に進み、iの初期値を0とする。続くステップ2316で、時間領域中のコマンドの時間間隔の合計であるhist\_total\_time[i]を0に初期化し、時間領域中のコマンドの数の合計であるhist\_numcmd[i]を0に初期化する。続くステップ2318で、iを1増加させる。続くステップ2320でiの値がNUM\_POINTより小さければ

再びステップ2316に戻り、iの値がNUM\_POINT以上の値になるまでステップ2316乃至ステップ2320を繰り返す。即ち、ステップ2314乃至ステップ2320でiの値が0からNUM\_POINTになるまでのすべてのiについてhist\_total\_time[i]及びhist\_numcmd[i]を0に初期化する。ステップ2320でiの値がNUM\_POINT以上の値になったらステップ2322に進み、全コマンド間隔の合計時間total\_timeを0に初期化し、ステップ2324で初期化プログラムを終了する。

【0067】図24は、オペレーティング時にHDDがコマンドを受け取った場合の動作を示した流れ図である。ステップ2410でコマンドによるパワーセーブ・モードの中断のプログラムを開始する。続くステップ2412で図25に示すコマンドを受け取るサブルーチンを実行する。コマンドを受け取るサブルーチンを完了し、HDDがホスト・コンピュータからコマンドを受け取ると、ステップ2414で現在HDDがパワーセーブ・モードに入っているか否か判断される。パワーセーブ・モードに入っていれば、ステップ2416に進み、パワーセーブ・モードからアクティブ・モードに復帰し、ステップ2418に進む。一方、ステップ2414で現在HDDがパワーセーブ・モードに入っていなければ、ステップ2418に進む。ステップ2418でコマンドを処理し、ステップ2420で図26に示すコマンドを完了するサブルーチンを実行し、コマンドを完了した後、ステップ2422でコマンドによるパワーセーブ・モードの中断のプログラムを終了する。

【0068】図25は、図24におけるステップ2412のコマンドを受け取るサブルーチンを詳述した流れ図である。ステップ2510でコマンドを受け取るサブルーチンが開始されると、ステップ2512でHDD内のMPUの内部タイマTimerから直前に完了したコマンドの完了時刻comp\_timeを減じ、その差をコマンド間隔intervalとする。ステップ2514で時間合計total\_timeにコマンド間隔intervalを加え、その和を時間合計total\_timeとする。続くステップ2516でiを0に初期化し、続くステップ2518でコマンド間隔intervalがi番目の時間領域hist\_min\_time[i]より小さいか否か判断される。コマンド間隔intervalがi番目の時間領域hist\_min\_time[i]より小さいと判断された場合、ステップ2524に進む。一方、ステップ2518でコマンド間隔intervalがi番目の時間領域hist\_min\_time[i]より小さくないと判断された場合、ステップ2520でiの値が1増加され、ステップ2522でiの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINTより小さいか否か判断される。iの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINTより小さい場合、再びステップ2518に戻り、コマンド間隔が次に小さい時間間隔に属するか否か判断される。一方、ステップ2522でiの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINTより小さくない場合、即ち、iの値



がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINTの値以上になった場合、ステップ2524に進む。ステップ2524でiの値が0に等しいか否か判断され、iの値が0に等しい場合、即ちステップ2518でコマンド間隔intervalがi番目の時間領域hist\_min\_time[i]より小さい場合、パワーセーブ・モードに移行するまでの最小時間よりもコマンド間隔が短いことを意味し、上述したようにデータとして保持する必要がなく、ステップ2528に進みサブルーチンを終了する。一方、ステップ2524でiの値が0に等しくない場合、即ちコマンド間隔intervalがi番目(iは1以外)の時間領域hist\_min\_time[i-1]に属する場合、ステップ2526に進み、i番目の時間領域中のコマンドの数の合計hist\_numcmd[i-1]を1増加させ、さらに、i番目の時間領域中のコマンドの時間間隔の合計hist\_total\_time[i-1]に当該コマンド間隔intervalを加え、その和をhist\_total\_time[i-1]とし、続くステップ2528でサブルーチンを終了する。

【0069】図26は、図24におけるステップ2420のコマンドを完了するサブルーチンを詳述した流れ図である。ステップ2610でコマンドを完了するサブルーチンが開始されると、ステップ2612でHDD内のMPUの内部タイマTimerのその時点での値がコマンドの完了時刻comp\_timeとされる。続くステップ2614で時間合計total\_timeがMAX\_TIMEの値以上か否か判断される。ここにMAX\_TIMEとは、(5)で説明した一定時間、即ち過去のコマンド・アクセスの影響を減少させる間隔の2倍の値である。ステップ2614で時間合計total\_timeがMAX\_TIMEの値以上である場合、ステップ2616に進み、図31において後述する過去のコマンド・アクセスの影響を減少させるサブルーチンを実行し、再びステップ2614に戻る。一方、ステップ2614で時間合計total\_timeがMAX\_TIMEの値より小さい場合、ステップ2618に進み、コマンド間隔intervalが1番目の時間領域hist\_min\_time[0]の値以上であるか否か判断される。コマンド間隔intervalが1番目の時間領域hist\_min\_time[0]の値以上である場合、ステップ2620に進み、図27において後述する、次にパワーセーブ・モードに入る時期を決定するサブルーチンを実行し、ステップ2622でサブルーチンを終了する。一方、ステップ2618でコマンド間隔intervalが1番目の時間領域hist\_min\_time[0]の値以上でない場合、パワーセーブ・モードに移行するまでの最小時間よりもコマンド間隔が短いことを意味し、上述したようにデータとして保持する必要がなく、ステップ2622でサブルーチンを終了する。

【0070】図27及び図28は、図26におけるステップ2620の、次にパワーモードに入る時期を決定するサブルーチンを詳述した流れ図である。ステップ2710で次にパワーモードに入る時期を決定するサブルーチンが開始されると、ステップ2712でiの値が0に

初期化され、続くステップ2714でi+1番目の時間領域中のコマンドの数の合計hist\_numcmd[i]が0に等しいか否か判断される。iの値が0に等しい場合、即ち、i+1番目の時間領域中のコマンドの数の合計hist\_numcmd[i]が0の場合、ステップ2718に進む。一方、ステップ2714でhist\_numcmd[i]が0に等しくない場合、ステップ2716に進み、i+1番目の時間領域中のコマンドの時間間隔の合計hist\_total\_time[i]をi+1番目の時間領域中のコマンドの数の合計hist\_numcmd[i]で除し、その商をhist\_ave\_time[i]とする。従って、hist\_ave\_time[i]は、i+1番目の時間領域におけるコマンド1個当たりの平均のコマンドの時間間隔を表す。ステップ2716を終了するとステップ2718に進む。ステップ2718で、iの値が1増加され、続くステップ2720でiの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINTより小さいか否か判断される。iの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINTより小さい場合、再びステップ2714に戻り、以下、iの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINT以上になるまでステップ2714乃至ステップ2720が繰り返される。一方、ステップ2720でiの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINTより小さくない場合、即ち、iの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINT以上の値になった場合、Aに進み、図28のAに続く。

【0071】図28のAからステップ2722に進み、iの値が0に初期化される。続くステップ2724で、i番目の時間領域hist\_min\_time[i]の値を変数delayに格納し、節約出来るエネルギー(消費電力量)の合計であるenergy\_gain\_sum及びコマンドに対する応答の遅れの合計resp\_loss\_sumの値をそれぞれ0に初期化する。続くステップ2726でjの値を0に初期化し、ステップ2728でj+1番目の時間領域中のコマンドの数の合計hist\_numcmd[j]が0に等しいか否か判断される。hist\_numcmd[j]の値が0に等しい場合、即ち、j+1番目の時間領域中のコマンドの数の合計が0の場合、ステップ2736に進み、jの値が1増加される。一方、ステップ2728でhist\_numcmd[j]が0に等しくない場合、ステップ2730に進み、j+1番目の時間領域におけるコマンド1個当たりの平均のコマンドの時間間隔hist\_ave\_time[j]をave\_intervalとする。続くステップ2732で図29において後述する、節約エネルギーを計算するサブルーチンを実行し、ステップ2734で節約出来るエネルギーの合計energy\_gain\_sumにenergy\_gainを、コマンドに対する応答の遅れの合計resp\_loss\_sumにresp\_lossをそれぞれ加える。その後、ステップ2736に進み、jの値が1増加され、続くステップ2738でjの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINTより小さいか否か判断される。jの値がNUM\_POINTより小さい場合、再びステップ2728に戻り、以下、jの値がNUM\_POINT以上になるまでステップ2728乃至ステ

ステップ2738が繰り返される。一方、ステップ2738でjの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINT以上になった場合、ステップ2740に進み、energy\_gain\_sum及びresp\_loss\_sumがそれぞれtotal\_timeで除され、節約されるパワー（消費電力）power\_gain[i]及び応答の遅れの比率resp\_loss\_ratio[i]が計算される。続くステップ2742でiの値が1増加され、続くステップ2744でiの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINTより小さいか否かが判断される。iの値がNUM\_POINTより小さい場合、再びステップ2724に戻り、以下、iの値がNUM\_POINT以上になるまでステップ2724乃至ステップ2744が繰り返される。一方、ステップ2744でiの値がコマンド間隔の時間領域の数NUM\_POINT以上になった場合、ステップ2746に進み、節約されるエネルギーが最大になる時間を予測するサブルーチンを実行し、その後、ステップ2748に進み、サブルーチンを終了する。

【0072】図29は、図28におけるステップ2732の節約エネルギーを計算するサブルーチンを詳述した流れ図である。ステップ2910で節約エネルギーを計算するサブルーチンが開始されると、ステップ2912で、図28のステップ2730で決定されたave\_interv\*

$$\text{energy\_gain} = -\text{TRANS\_ENERGY} - ((\text{delay} + \text{TRANS\_TIME}) - \text{ave\_interval}) * \text{BASE\_POWER} \quad (4)$$

【数5】

$$\text{resp\_loss} = \text{EXIT\_TIME} + \text{TRANS\_TIME} - (\text{ave\_interval} - \text{delay}) \quad (5)$$

【0073】ここで、式（4）において、TRANS\_ENERGYとは、HDDがパワーセーブ・モードに入るため及びそこから復帰するために必要なエネルギーの和をいい、図2におけるEL1+EL2に相当する。また、BASE\_POWERとは、アイドル・モードにおけるHDDの消費電力をいい、従って、式（4）の右辺の第2項 $((\text{delay} + \text{TRANS\_TIME}) - \text{ave\_interval}) * \text{BASE\_POWER}$ は、式（2）のEL3に相当する。

【0074】また、式（5）において、EXIT\_TIMEとは、HDDがパワーセーブ・モードから復帰するために必要な時間をいい、図2における時間bに相当する。TR※

$$\text{energy\_gain} = (\text{ave\_interval} - (\text{delay} + \text{TRANS\_TIME})) * \text{DELTA\_POWER} - \text{TRANS\_ENERGY} \quad (6)$$

【数7】 $\text{resp\_loss} = \text{EXIT\_TIME} \quad (7)$

【0077】ここで、DELTA\_POWERとは、アイドル・モードにおけるHDDの消費電力とパワーセーブ・モードにおけるHDDの消費電力の差をいう。従って、式（6）の右辺の第1項 $(\text{ave\_interval} - (\text{delay} + \text{TRANS\_TIME})) * \text{DELTA\_POWER}$ は、式（3）のEGに相当する。

【0078】ステップ2920を終了した後、ステップ2922に進み、サブルーチンを終了する。

【0079】図30は、図28におけるステップ2746の、節約されるエネルギーが最大になる時間を予測す

\*alの値が図28のステップ2724で決定されたdelayの値より小さいか否かが判断される。ave\_intervalの値がdelayの値より小さい場合、コマンド1個当たりの平均のコマンドの時間間隔がパワーセーブ・モードに移行するまでの時間より短いため、図2における期間Aにおいて次のコマンドが来ることに該当し、節約出来るエネルギーの合計energy\_gain\_sum及びコマンドに対する応答の遅れの合計resp\_loss\_sumの計算に影響しない。従って、この場合、ステップ2914に進み、energy\_gain及びresp\_lossの値を0とし、ステップ2922でサブルーチンを終了する。一方、ステップ2912でave\_intervalの値がdelayの値より小さくない場合、図2における期間B又はCにおいて次のコマンドが来ることに該当し、ステップ2916に進む。ステップ2916で、ave\_intervalの値が、delayの値とパワーセーブ・モードに入るために要する時間であるTRANS\_TIMEとの和より小さいか否かが判断される。ave\_intervalの値が、delay+TRANS\_TIMEより小さい場合、図2における期間Bにおいて次のコマンドが来ることに該当し、ステップ2918に進む。ステップ2918で、energy\_gain及びresp\_lossが図2で説明したように、下記の式で計算される。

【数4】

※ANS\_TIMEは前述の通りパワーセーブ・モードに入るために要する時間であり、図2における時間aに相当する。

【0075】ステップ2918を終了した後、ステップ2922に進み、サブルーチンを終了する。

【0076】一方、ステップ2916でave\_intervalの値が、delay+TRANS\_TIMEより小さくない場合、図2における期間Cにおいて次のコマンドが来ることに該当し、ステップ2920に進む。ステップ2920で、energy\_gain及びresp\_lossが図2で説明したように、下記の式で計算される。

【数6】

るサブルーチンを詳述した流れ図である。ステップ3010で節約されるエネルギーが最大になる時間を予測するサブルーチンが開始されると、ステップ3012で、最大節約電力量であるmax\_power\_gainが0に初期化され、max\_power\_numがNUM\_POINTに初期化される。続くステップ3014でiの値が0に初期化され、ステップ3016に進む。ステップ3016で応答の遅れの比率resp\_loss\_ratio[i]の値が許容される最大の平均遅延時間RESP\_LOSS\_CRITERIAの値より小さいか否かが判断される。resp\_loss\_ratio[i]の値がRESP\_LOSS\_CRITERIAの値より小さい場合、応答の遅れは許容される範囲内であり、さ

らにステップ3018に進み、power\_gain[i]がmax\_power\_gainより大きいかな否か判断される。一方、ステップ3016でresp\_loss\_ratio[i]の値がRESP\_LOSS\_CRITERIAの値より小さくない場合は、応答の遅れは許容される範囲内になく、ステップ3022に進む。ステップ3018で、power\_gain[i]がmax\_power\_gainより大きい場合はステップ3020に進み、max\_power\_gainの値をpower\_gain[i]の値に更新し、max\_power\_numの値もそのときのiの値に更新し、その後ステップ3022に進む。一方、ステップ3018でpower\_gain[i]がmax\_power\_gainより大きくない場合、max\_power\_gain及びmax\_power\_numの値は更新されず、ステップ3022に進む。ステップ3022でiの値が1増加され、続くステップ3024でiの値がNUM\_POINTより小さいかな否か判断される。iの値がNUM\_POINTより小さい場合、再びステップ3016に戻り、以下、iの値がNUM\_POINT以上になるまでステップ3016乃至ステップ3024が繰り返される。一方、ステップ3024でiの値がNUM\_POINT以上になった場合、ステップ3026で、次にパワーセーブ・モードに移行するまでの時間next\_delayがhist\_min\_time[max\_power\_num]に決定され、その後、ステップ3028に進み、サブルーチンを終了する。

【0080】図31は、図26におけるステップ2616の過去のコマンド・アクセスの影響を減少させるサブルーチンを詳述した流れ図である。ステップ3110で過去のコマンド・アクセスの影響を減少させるサブルーチンが開始されると、ステップ3112で、iの値が0に初期化される。続くステップ3114で、i+1番目の時間領域中のコマンドの時間間隔の合計hist\_total\_time[i]を2で除し、その商をhist\_total\_time[i]とし、i+1番目の時間領域中のコマンドの数の合計hist\_numcmd[i]を2で除し、その商をhist\_numcmd[i]とする。続くステップ3116でiの値が1増加され、続くステップ3118でiの値がNUM\_POINTより小さいかな否か判断される。iの値がNUM\_POINTより小さい場合、再びステップ3114に戻り、以下、iの値がNUM\_POINT以上になるまでステップ3114乃至ステップ3118が繰り返される。一方、ステップ3118でiの値がNUM\_POINT以上になった場合、ステップ3120に進む。ステップ3120で、total\_timeを2で除し、その商をtotal\_timeとし、その後ステップ3122に進み、サブルーチンを終了する。

【0081】図32は、パワーセーブ・モードに移行するためのタイマによる割り込み動作を示した流れ図である。ステップ3210でパワーセーブ・モードに移行するためのタイマによる割り込みのプログラムが開始されると、ステップ3212で現在HDDがコマンドを処理中かな否か判断される。コマンドを処理中であれば、ステップ3222に進み、プログラムを終了する。コマンドを処理中でなければ、ステップ3214に進み、現在H

DDがパワーセーブ・モードに入っているかな否か判断される。既にパワーセーブ・モードに入っていればステップ3222に進み、プログラムを終了する。まだパワーセーブ・モードに入っていなければステップ3216に進み、HDD内のMPUの内部タイマTimerから直前に完了したコマンドの完了時刻comp\_timeを減じ、その差を経過時間elapsed\_timeとする。次に、ステップ3218に進み、elapsed\_timeの値が次にパワーセーブ・モードに移行するまでの時間next\_delayの値以上かな否か判断される。elapsed\_timeの値が次にパワーセーブ・モードに移行するまでの時間next\_delayの値以上である場合、ステップ3220に進み、パワーセーブ・モードに入り、続くステップ3222でプログラムを終了する。一方、ステップ3218でelapsed\_timeの値が次にパワーセーブ・モードに移行するまでの時間next\_delayの値以上でない場合、ステップ3222に進み、プログラムを終了する。

#### 【0082】(8) 適用例の実験結果

表1及び表2に実際のHDDを用いた実験結果を示す。表1は、パワーセーブ・モードなし(No Power Save)の場合、ABLE2アルゴリズムを用いた場合及び本発明によるアルゴリズム(New Algorithm)を用いた場合のそれぞれについて、バッテリーの使用時間を比較するためのベンチマーク・プログラムの一つをHDDが実行したときの平均消費電力を示す。表において、マイクロコードはABLE2のアルゴリズムを用いてパワーセーブ・モードを制御しており、3個のパワーセーブ・モードを用いている。新しいアルゴリズムでも同じ3個のパワーセーブ・モードを制御するようにしている。表中でABLE Modeとあるのは移行することを許している最も深いレベルのパワーセーブ・モードを制御するためのパラメータであり、この数が小さいほど深いレベルのパワーセーブ・モードを許すこととしている。また、表2は、表1と同様の各場合について、HDDのスループットを測定するためのベンチマーク・プログラムの一つをHDDが実行したときのスコア(高いほど良いとされる)を示す。

#### 【表1】

表1

Algorithm	ABLE Mode	Average Power	Ratio (vs ABLE2)
No Power Save	N/A	1796mW	N/A
ABLE2	192	913mW	100.0%
	128	834mW	100.0%
	1	705mW	100.0%
New Algorithm	192	895mW	98.0%
	128	806mW	96.6%
	1	642mW	91.1%

10

【表2】

表2

Algorithm	ABLE Mode	Business Ratio (vs No PS)	High End Ratio (vs No PS)
No Power Save	N/A	771 100.0%	1790 100.0%
ABLE2	192	754 97.8%	1770 98.9%
	128	756 98.1%	1770 98.9%
	1	756 98.1%	1780 99.4%
New Algorithm	192	771 100.0%	1770 98.9%
	128	771 100.0%	1790 100.0%
	1	764 99.1%	1780 99.4%

【0083】以上より、表1における平均消費電力は、本発明による新しいアルゴリズムの方がABLE2に比べて、最も深いパワーセーブモードを使う場合で約9% 30 少なくなっていることが分かる。

【0084】また、表2におけるスコアは新しいアルゴリズムの方がABLE2の場合に比べて1%程度良くなっており、パワーセーブを全くしない場合にほぼ等しい。これは、ABLE2で不適当なタイミングでパワーセーブ・モードに入ってしまうケースがたまにあったのが、新しいアルゴリズムでほとんどなくなったためであると推測される。

## 【0085】

【発明の効果】本発明によれば、HDDの消費電力をより低減させることができる。 40

【0086】また、本発明によれば、パワーセーブ・モードに移行した場合に節約が期待される消費電力量を計算することができる方法及び装置を提供することができる。

【0087】さらに、本発明によれば、HDDの非動作の時間が短いにもかかわらず、ホスト・コンピュータから受け取るコマンドの見かけ上の密度が低くなってしまい、不適当なタイミングでパワーセーブ・モードに移行してしまうという不都合を解消し、真にHDDが非動作 50

である時間に応じてホスト・コンピュータから受け取るコマンドの密度を計算する方法及び装置を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明が適用されるHDDのブロック図である。

【図2】パワーセーブ・モードの前後にわたる消費電力の推移を示す図である。

【図3】次のコマンドを受け取るタイミングと節約できる消費電力量TEG及び遅延時間の関係を示す図である。

【図4】HDDがアイドル・モードからアイドル2・モードへ移行するときのコマンド間隔と節約できる消費電力量及び遅延時間との関係を示す図である。

【図5】HDDがアイドル2・モードからアイドル3・モードへ移行するときのコマンド間隔と節約できる消費電力量及び遅延時間との関係を示す図である。

【図6】HDDがアイドル3・モードからスタンバイ・モードへ移行するときのコマンド間隔と節約できる消費電力量及び遅延時間との関係を示す図である。

【図7】あるオペレーティング・プログラムのブート・プログラムを実行したときのコマンド間隔の分布を示す図である。

【図 8】図 4 におけるアイドル 2・モードへの移行開始までの時間として図 7 のコマンド間隔の分布を適用して重み付けをしたときに、アイドル 2・モードへの移行開始までの時間と節約できる消費電力量及び遅延率の関係を示す図である。

【図 9】図 5 におけるアイドル 3・モードへの移行開始までの時間として図 7 のコマンド間隔の分布を適用して重み付けをしたときに、アイドル 3・モードへの移行開始までの時間と節約できる消費電力及び遅延率の関係を示す図である。

【図 10】図 6 におけるスタンバイ・モードへの移行開始までの時間として図 7 のコマンド間隔の分布を適用して重み付けをしたときに、スタンバイ・モードへの移行開始までの時間と節約できる消費電力及び遅延率の関係を示す図である。

【図 11】バッテリーの使用時間を比較するためのベンチマーク・プログラムの一つを実行したときのコマンド間隔の分布を示す図である。

【図 12】各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した場合の節約できる消費電力及び遅延率の変化を示す図である。

【図 13】各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した場合の節約できる消費電力及び遅延率の変化を示す図である。

【図 14】各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した場合の節約できる消費電力及び遅延率の変化を示す図である。

【図 15】ビジネス用アプリケーション・プログラムの実行性能を比較するためのベンチマーク・プログラムの一つを実行したときのコマンド間隔の分布を示す図である。

【図 16】各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した場合の節約できる消費電力及び遅延率の変化を示す図である。

【図 17】各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した場合の節約できる消費電力及び遅延率の変化を示す図である。

【図 18】各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した場合の節約できる消費電力及び遅延率の変化を示す図である。

【図 19】バッテリーの使用時間を比較するためのベンチマーク・プログラムの他の一つを実行したときのコマンド間隔の分布を示す図である。

【図 20】各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した場合の節約できる消費電力及び遅延率の変化を示す図である。

【図 21】各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を

適用した場合の節約できる消費電力及び遅延率の変化を示す図である。

【図 22】各パワーセーブ・モードの移行にこの分布を適用した場合の節約できる消費電力及び遅延率の変化を示す図である。

【図 23】コマンド間隔の分布を求めるための方法を示した流れ図である。

【図 24】オペレーティング時に HDD がコマンドを受け取った場合の動作を示した流れ図である。

10 【図 25】図 24 におけるステップ 2412 のコマンドを受け取るサブルーチンを詳述した流れ図である。

【図 26】図 24 におけるステップ 2420 のコマンドを完了するサブルーチンを詳述した流れ図である。

【図 27】図 28 とともに図 26 におけるステップ 2620 の次にパワーモードに入る時期を決定するサブルーチンを詳述した流れ図である。

【図 28】図 27 とともに図 26 におけるステップ 2620 の次にパワーモードに入る時期を決定するサブルーチンを詳述した流れ図である。

20 【図 29】図 28 におけるステップ 2732 の節約エネルギーを計算するサブルーチンを詳述した流れ図である。

【図 30】図 28 におけるステップ 2746 の節約されるエネルギーが最大になる時間を予測するサブルーチンを詳述した流れ図である。

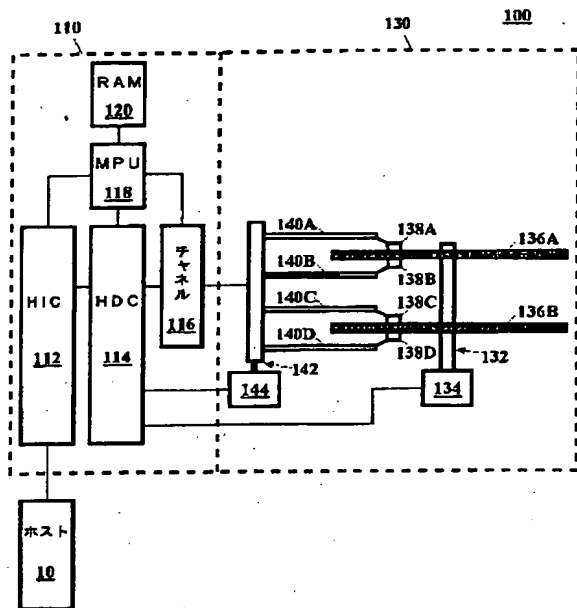
【図 31】図 26 におけるステップ 2616 の過去のコマンド・アクセスの影響を減少させるサブルーチンを詳述した流れ図である。

30 【図 32】パワーセーブ・モードに移行するためのタイマによる割り込み動作を示した流れ図である。

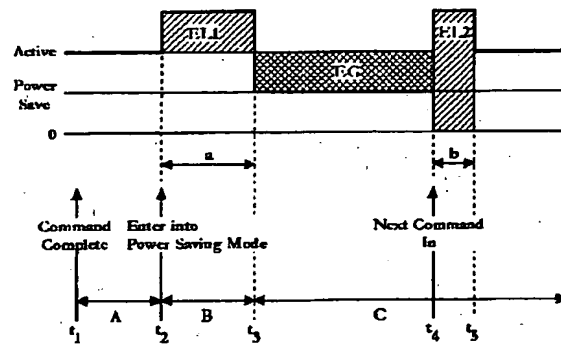
#### 【符号の説明】

- 100 ディスク装置
- 110 コントローラ部
- 112 ホスト・インターフェース・コントローラ (HIC)
- 114 ハード・ディスク・コントローラ (HDC)
- 116 チャンネル
- 118 MPU
- 120 RAM
- 40 130 ディスク部
- 132 スピンドル
- 134 モータ
- 136 ディスク
- 138 ヘッド
- 140 アクチュエータ・アーム
- 142 ピボット・シャフト
- 144 ボイス・コイル・モータ (VCM)

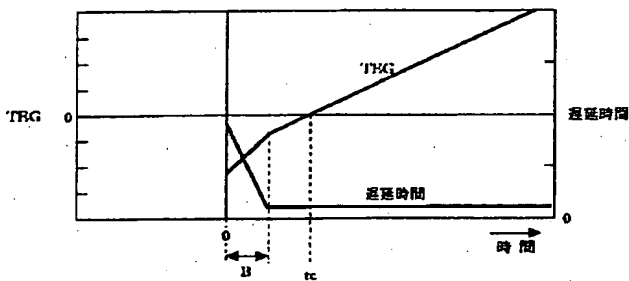
【図 1】



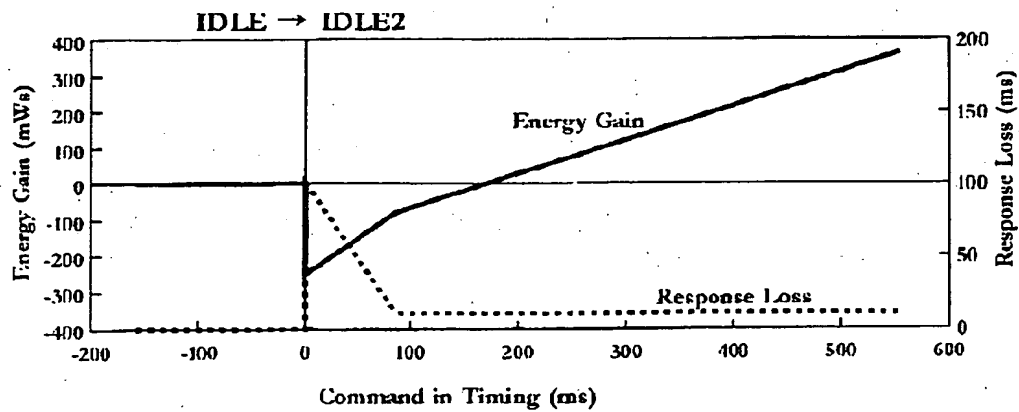
【図 2】



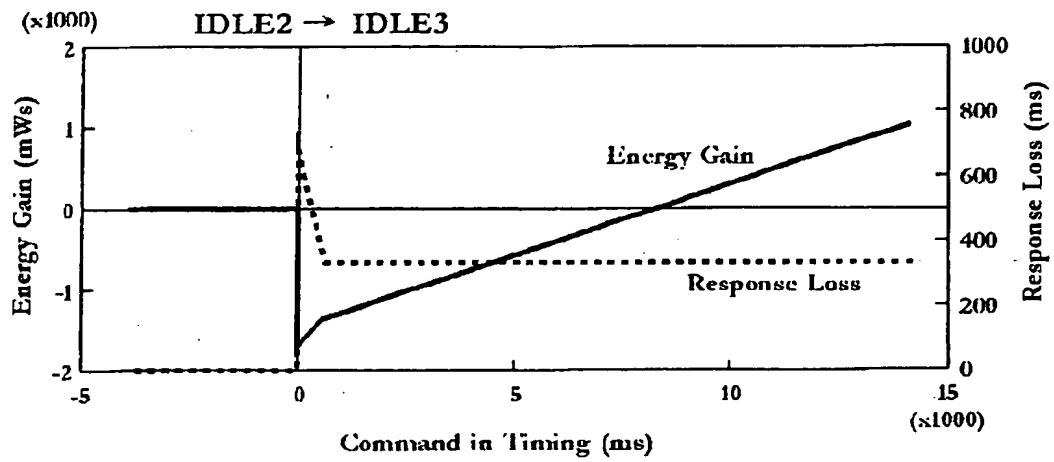
【図 3】



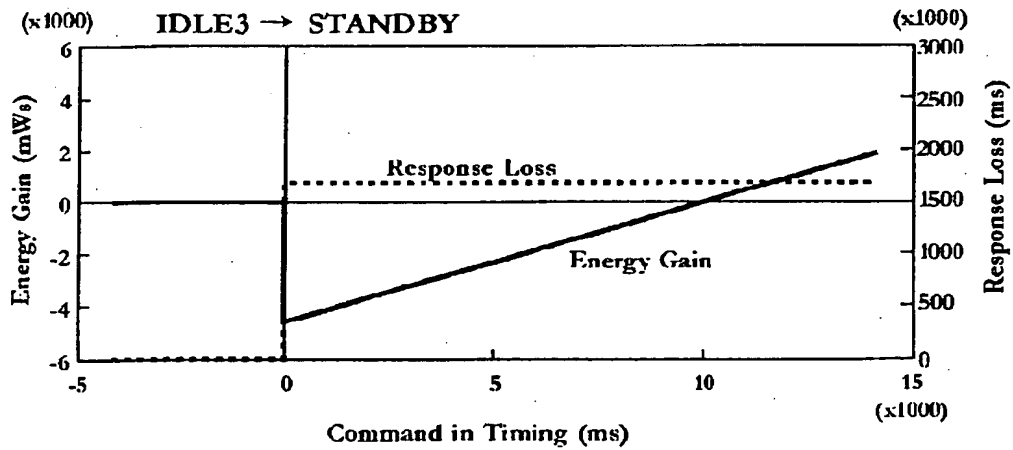
【図 4】



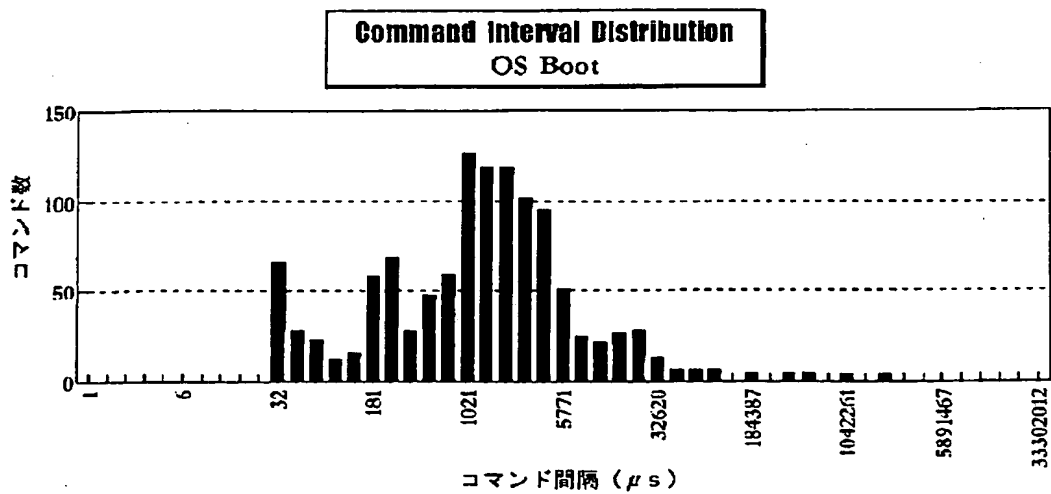
【図 5】



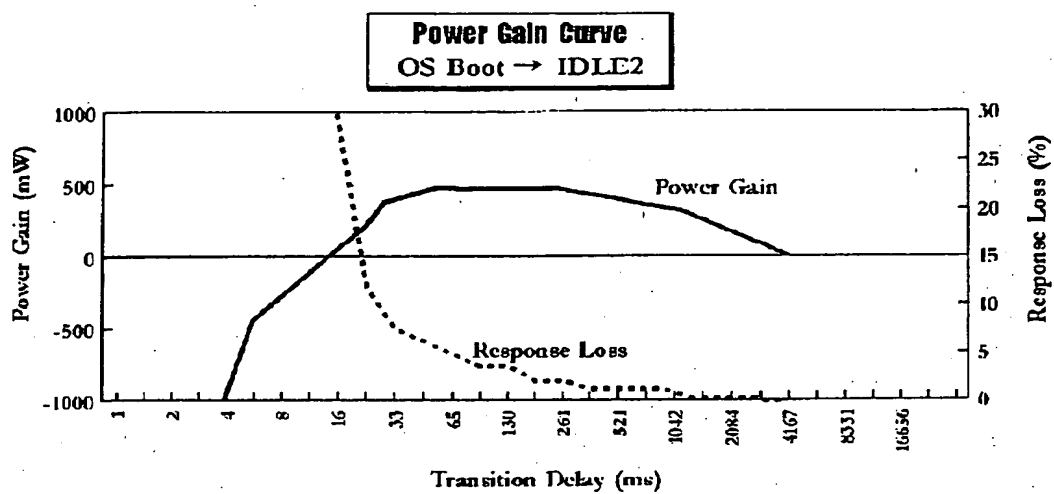
【図 6】



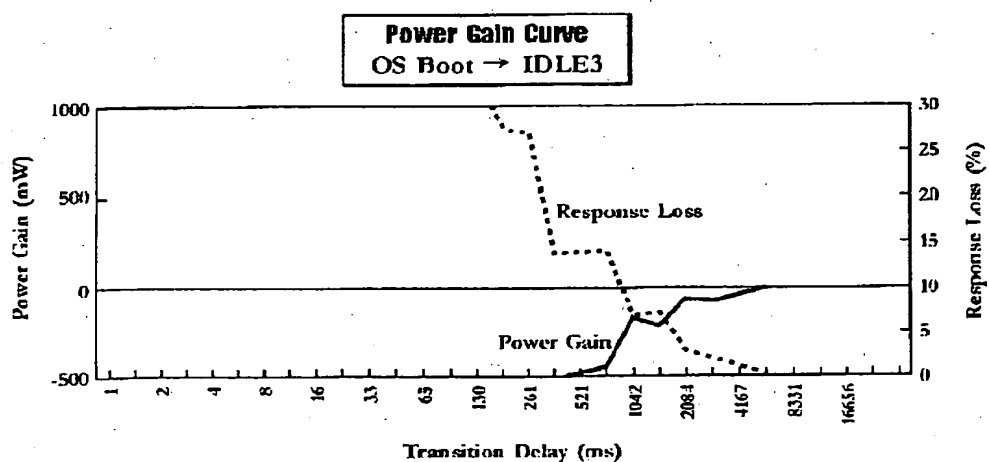
【図 7】



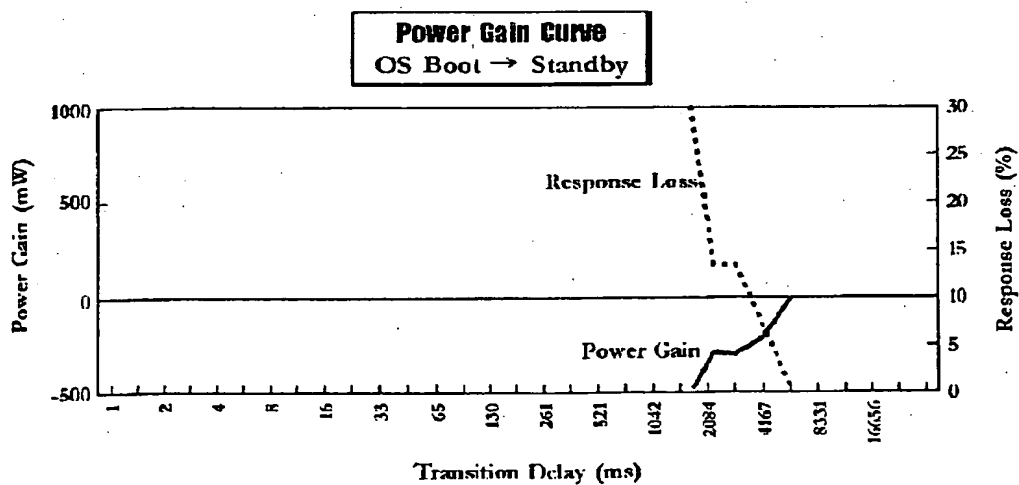
【図8】



【図9】

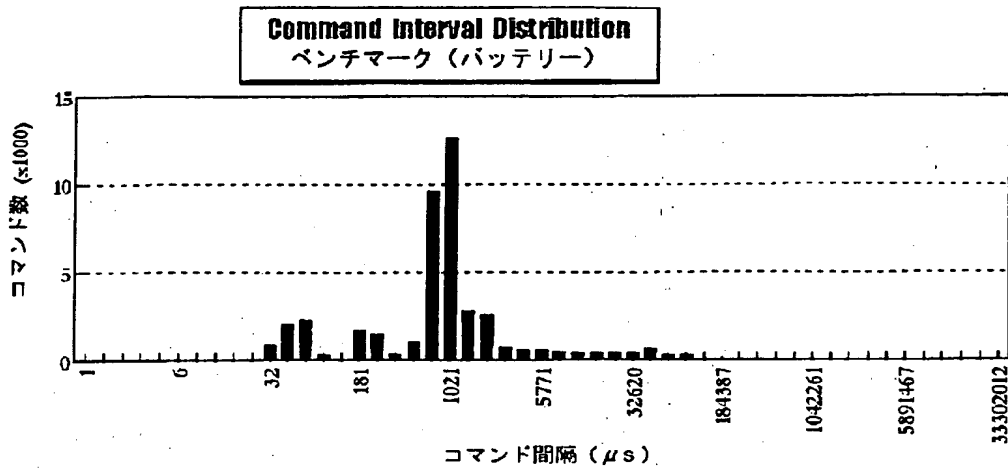


【図10】

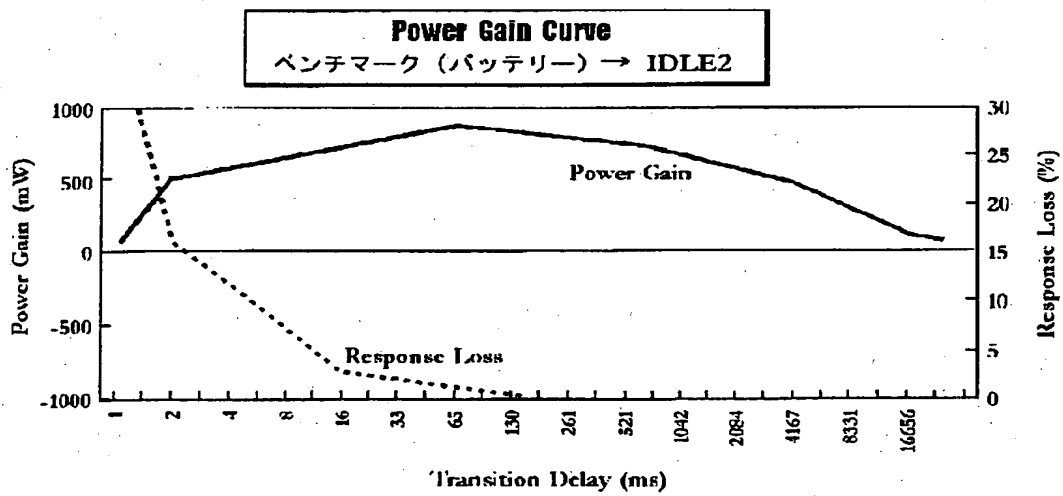




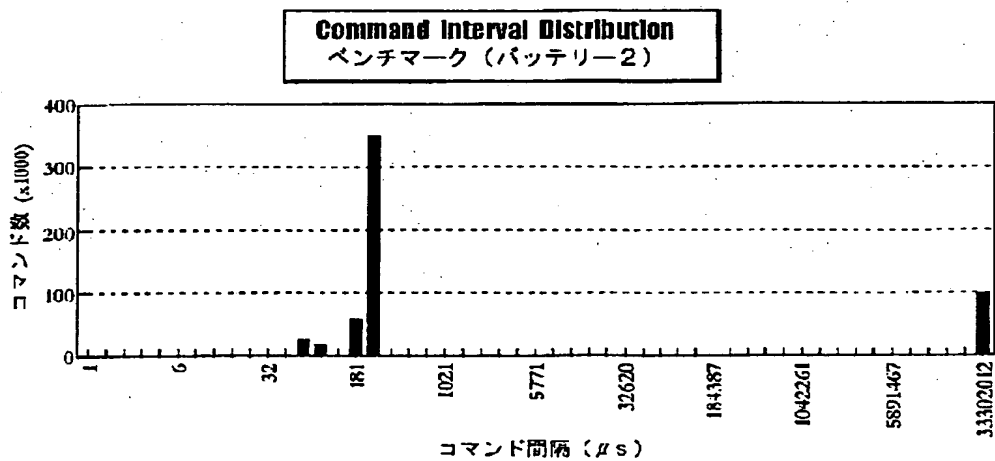
【図11】



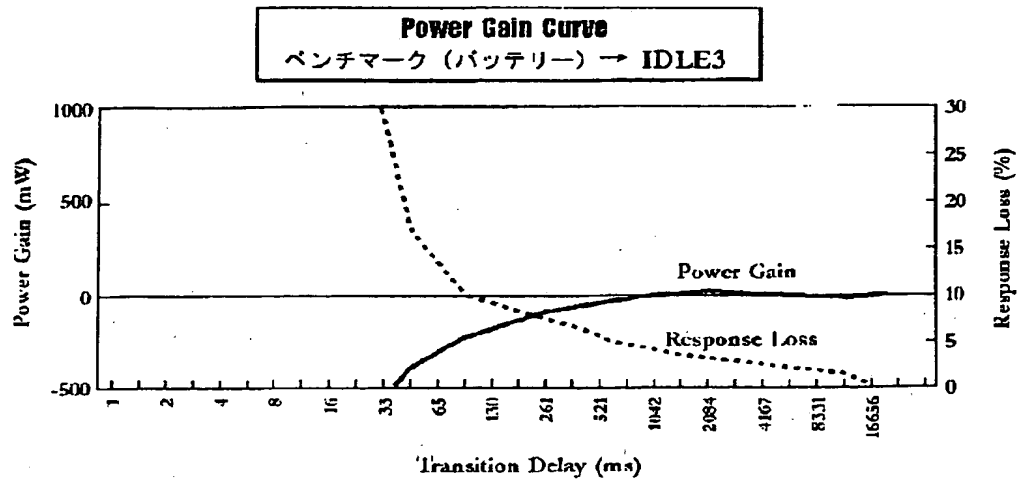
【図12】



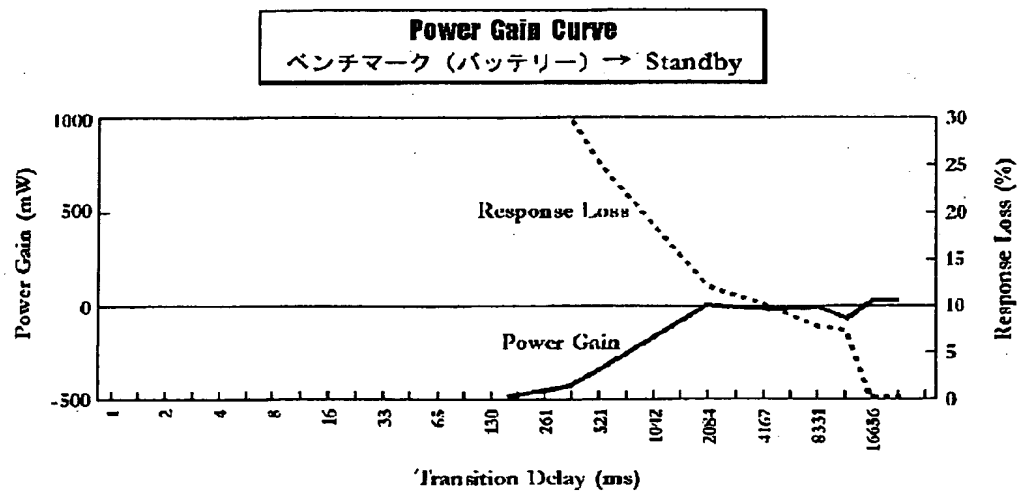
【図19】



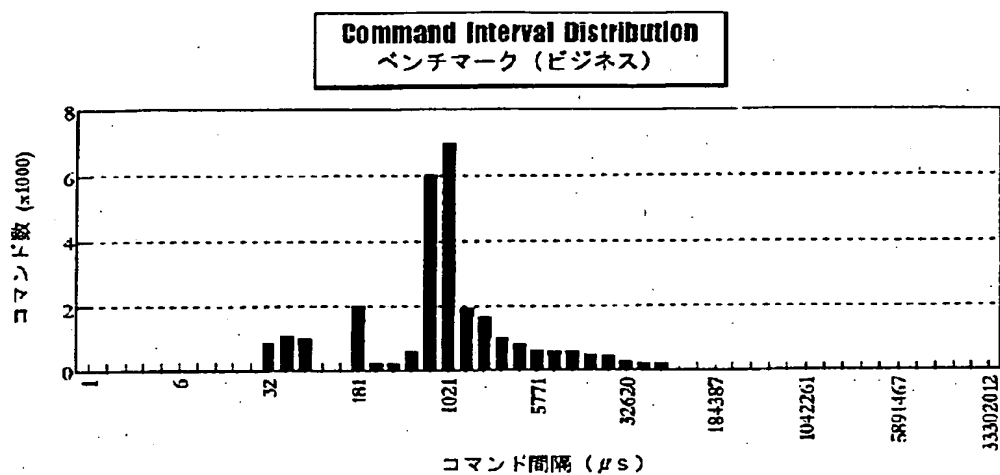
【図13】



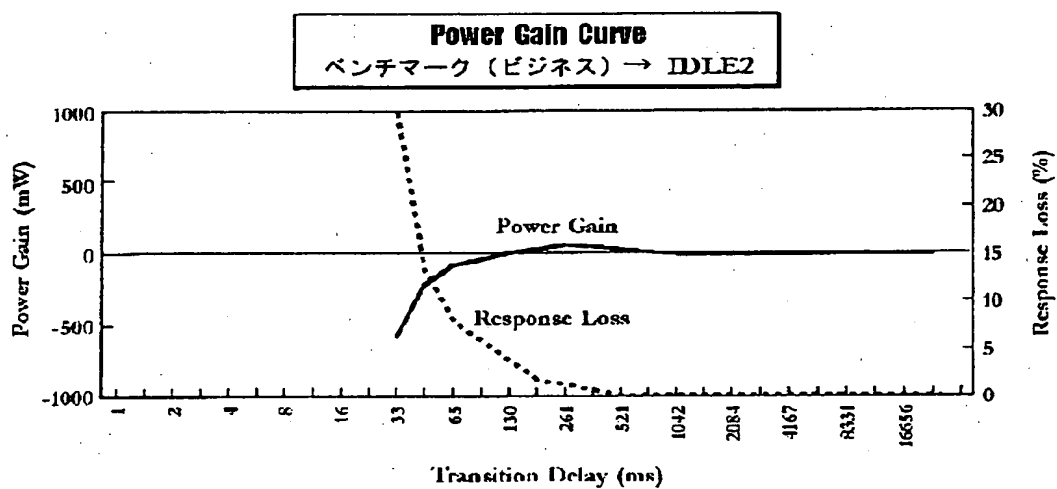
【図14】



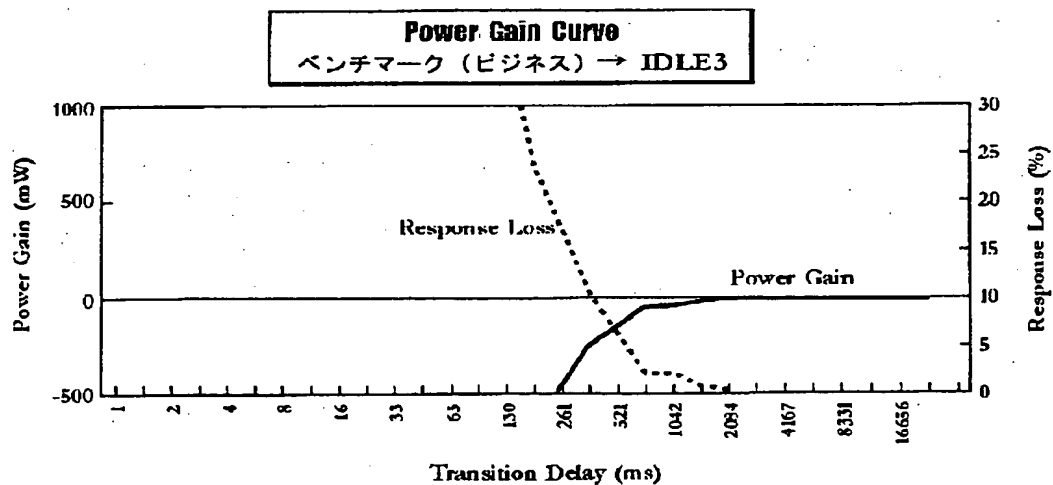
【図15】



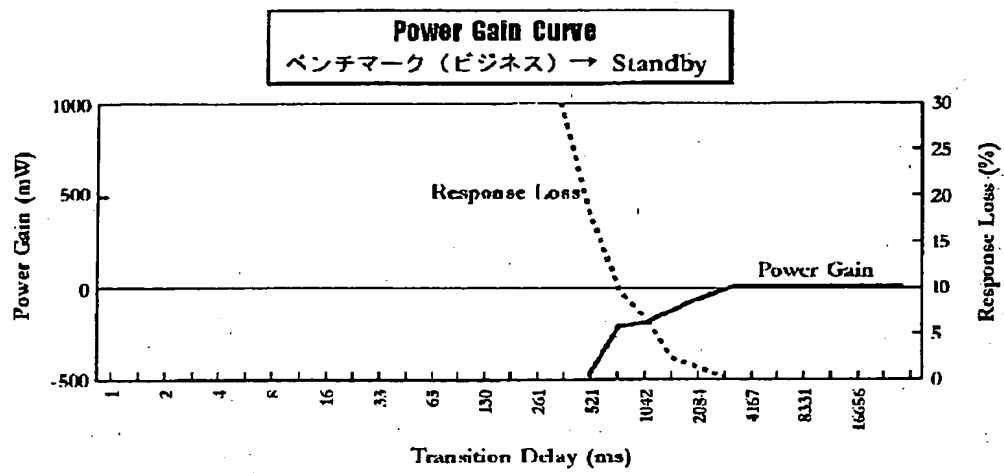
【図16】



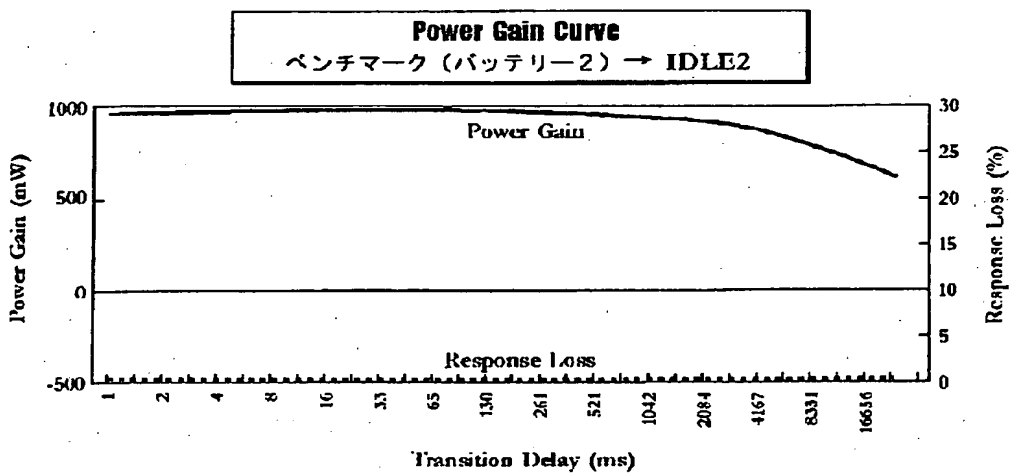
【図17】



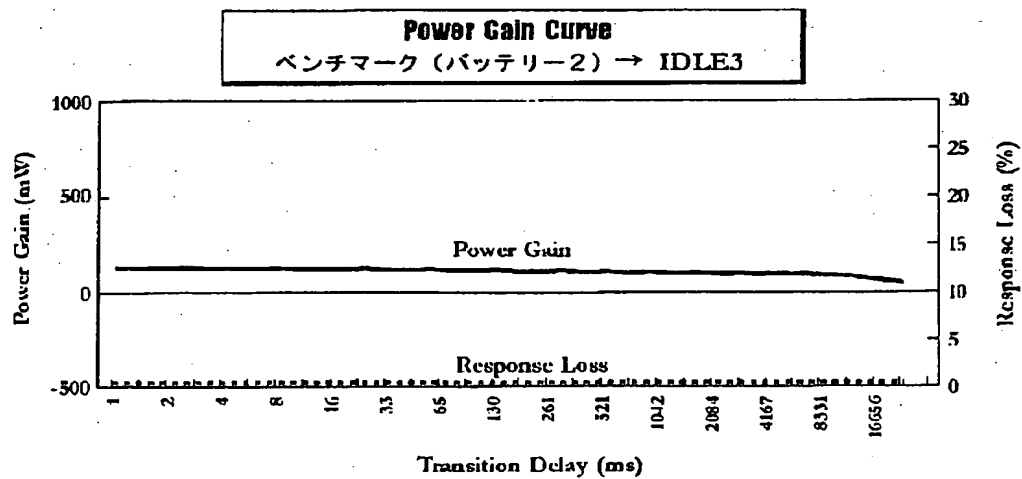
【図18】



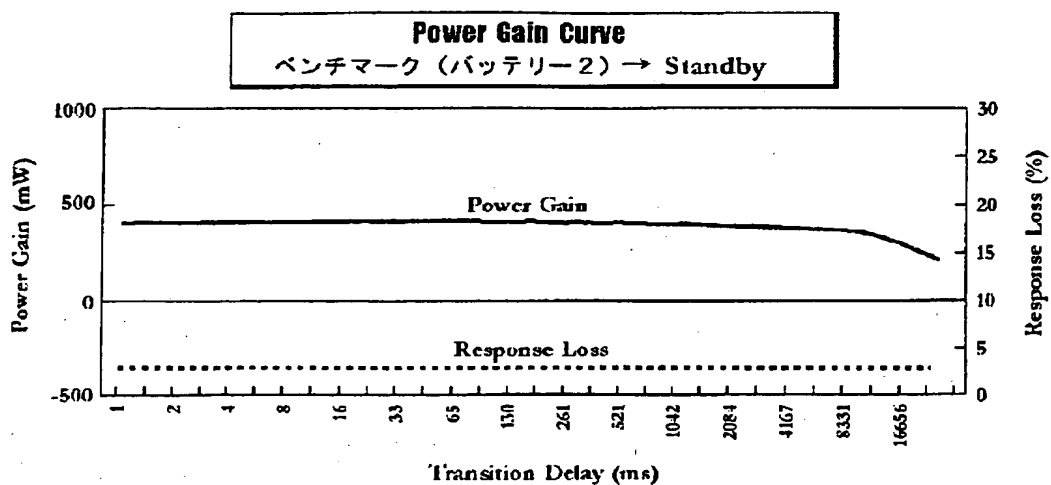
【図20】



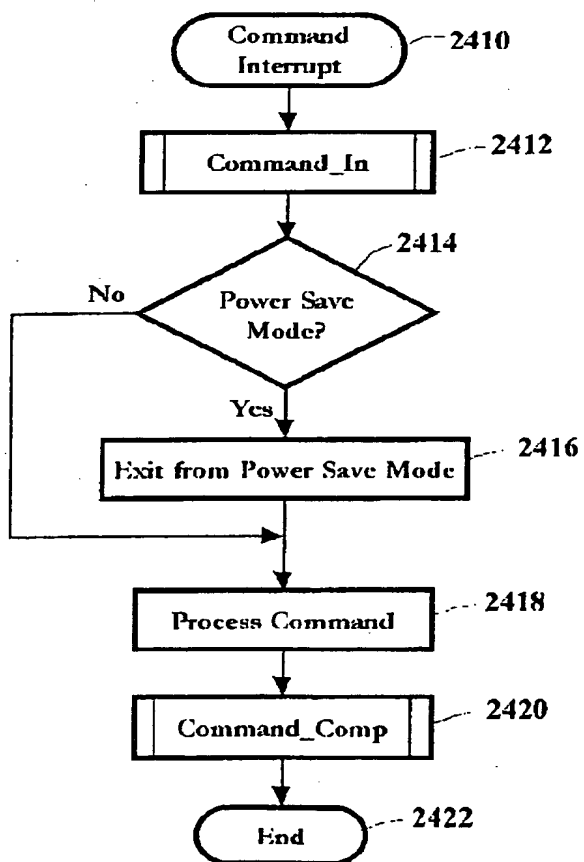
【図21】



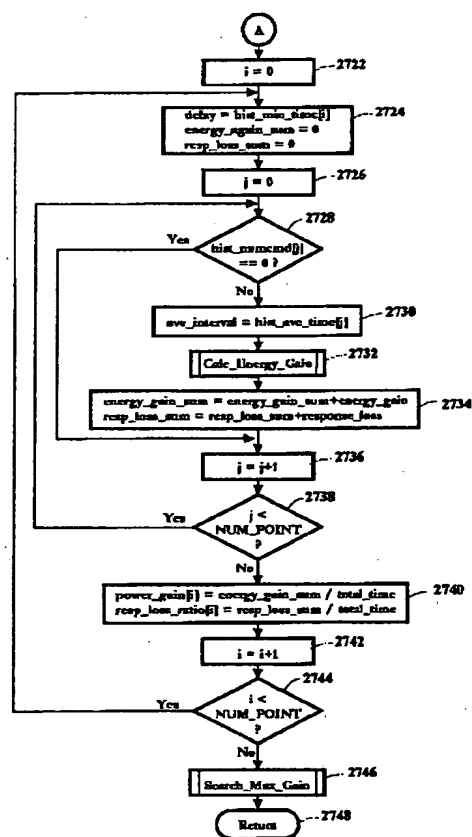
【図 22】



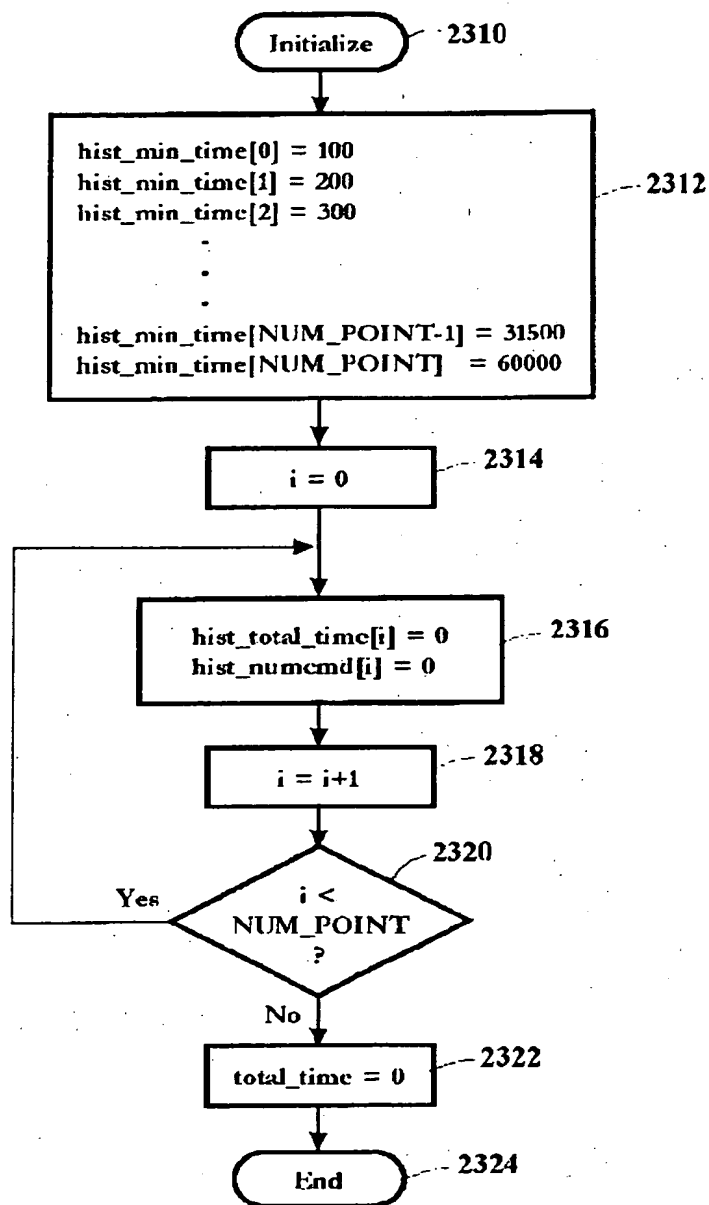
【図 24】



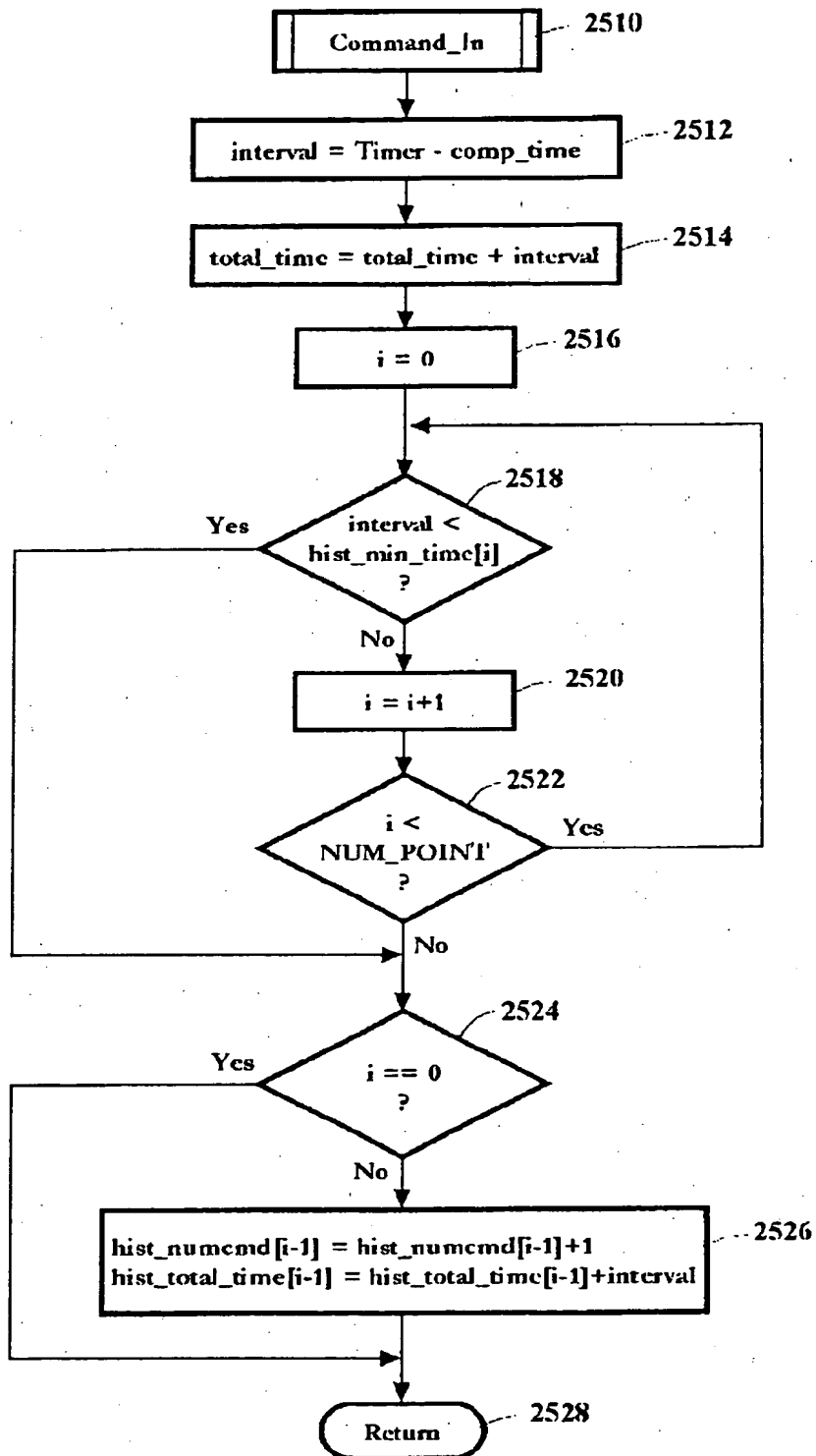
【図 28】



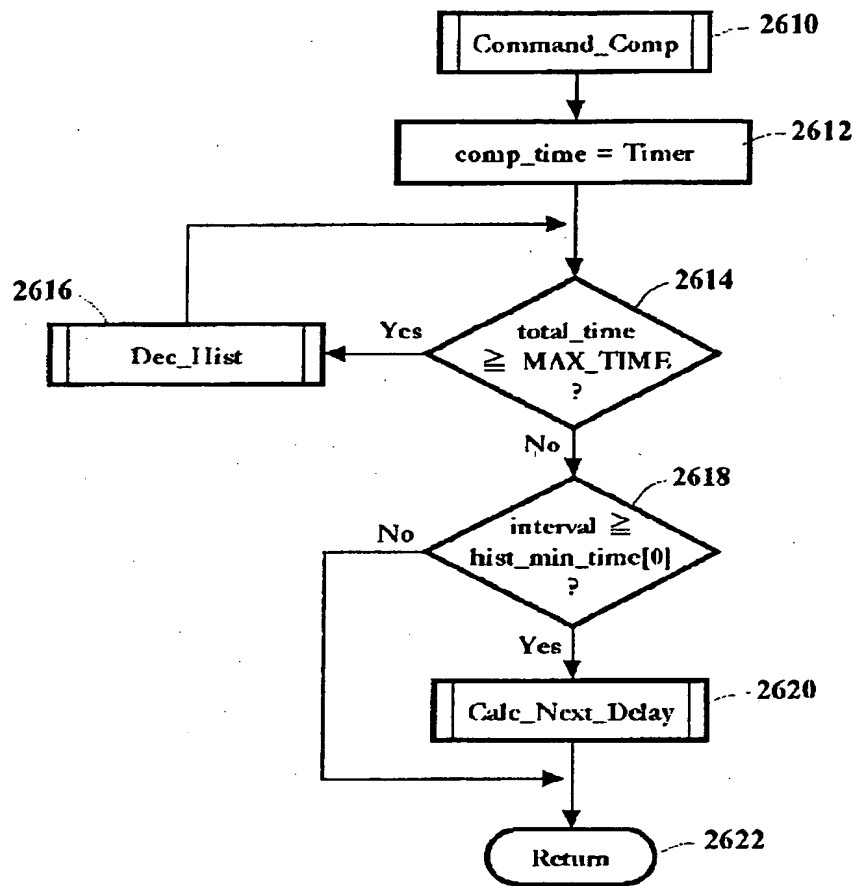
【図 23】



【図25】

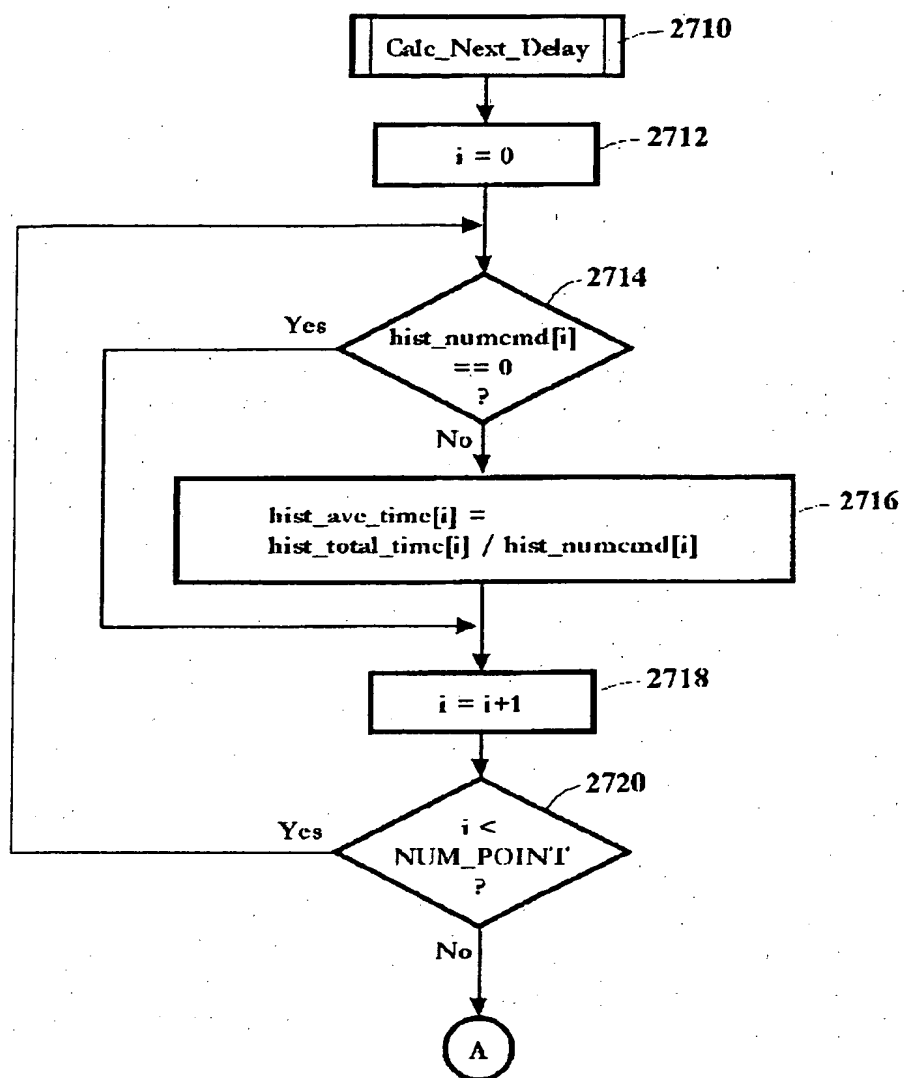


【図 26】

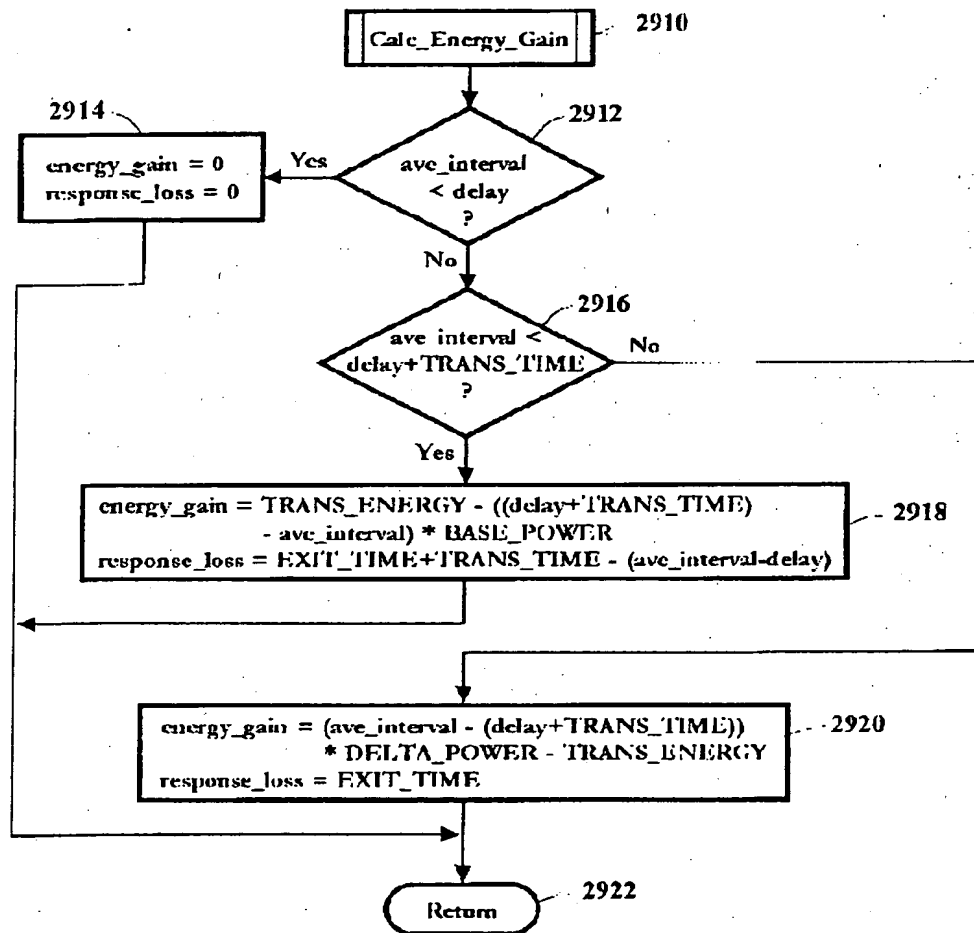




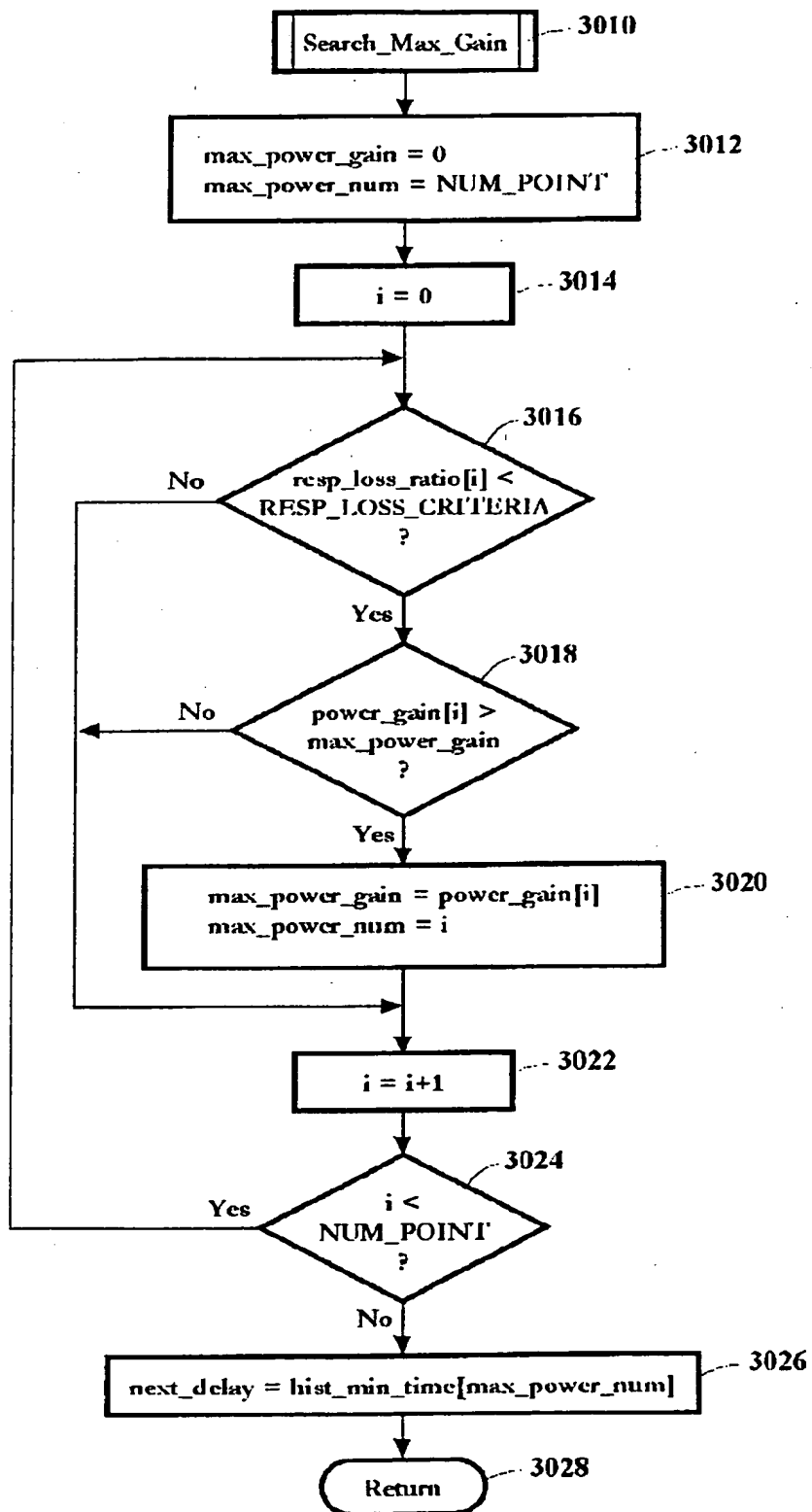
【図27】



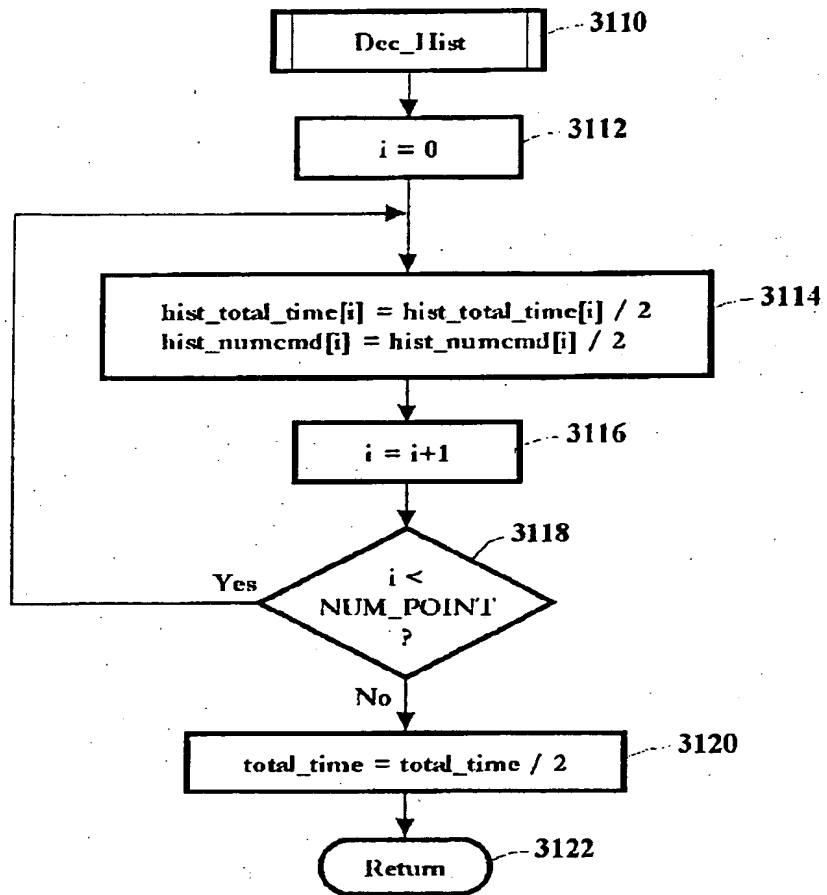
【図 29】



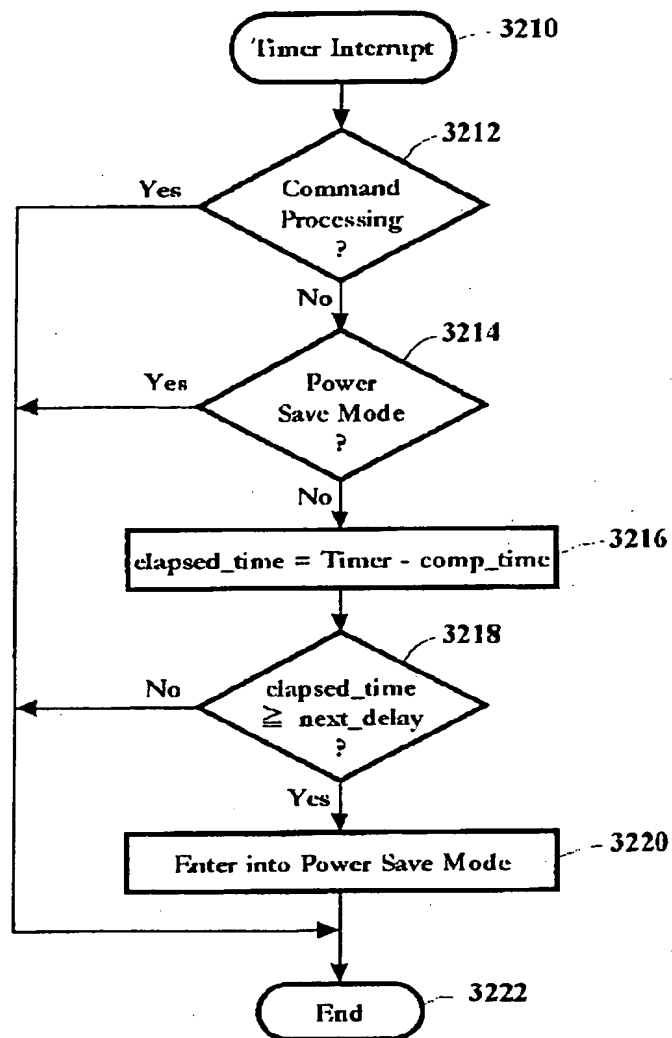
【図 30】



【図 31】



【図 32】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

G 0 6 F 1/00

テーマコード(参考)

3 3 4 G

F ターム(参考) 5B011 EB06 EB07 LL14  
 5B065 BA01 CA16 ZA14  
 5G065 AA00 AA01 EA02 GA06 JA07  
 LA07